



# Dinâmica sucessional de comunidade de algas perifíticas em um ecossistema lótico subtropical

*Successional dynamic of the periphytic algal community in ecosystem lotic subtropical*

Sirlene Aparecida Felisberto<sup>1,3</sup> & Lílina Rodrigues<sup>2</sup>

## Resumo

O principal objetivo deste trabalho foi descrever as mudanças na estrutura de comunidades de algas perifíticas durante o processo de colonização e sucessão, em período chuvoso, indicando suas espécies descritoras. O local selecionado para a realização deste estudo foi o rio do Corvo (22°39'S, 52°46'W), um afluente do rio Paranapanema localizado próximo à barragem do reservatório de Rosana, na região noroeste do Paraná, Brasil. Coletas do perifíton em substrato artificial e medições de dados abióticos foram realizadas no período de 21 de novembro a 12 de dezembro de 2003, em intervalos de três dias. A identificação e quantificação das algas foi feita em microscópio invertido, utilizando-se o método de Utermöhl. Para análise da dinâmica sucessional, foram considerados: riqueza de espécies, densidade total, abundância relativa dos táxons, espécies descritoras, diversidade de Shannon-Wiener e equitabilidade. As flutuações observadas na densidade total foram determinadas principalmente por Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae e Zygnemaphyceae. Maiores valores de abundância na comunidade de algas perifíticas foram registrados para espécies pequenas de diatomáceas, abundantes durante todo o período, consideradas colonizadores eficientes e de crescimento rápido, assim como para cianobactérias e algas verdes filamentosas (*Oedogonium* spp. e *Stigeoclonium* spp.), de crescimento mais lento e mais abundantes nos estádios tardios. As primeiras estão entre as *r*-estrategistas, enquanto as últimas estão entre as C-S estrategistas (algas mais competitivas em sistemas mesotróficos e estáveis). A diversidade de Shannon-Wiener foi elevada (2,2 a 3,1), com o maior valor constatado na terceira semana de desenvolvimento sucessional. Com base em análise de componentes principais, as concentrações de nutrientes, o pH e a turbidez foram os principais fatores abióticos relacionados ao processo de sucessão.

**Palavras-chave:** diversidade, estrutura da comunidade, perifíton, rio, sucessão.

## Abstract

This paper aimed to describe the successional changes in the structure of periphytic algal assemblages in a lotic environment, during the rainy period, indicating the descriptor species. The study site was Corvo stream (22°39'S, 52°46'W), a tributary of the Paranapanema river, located near the Rosana Reservoir, in the northwestern Paraná state, Brazil. Periphyton samples on artificial substrate and abiotic data were obtained from 21 November to 12 December 2003, at three-days intervals. Algae were identified and quantified using inverted microscope at 400X, according to Utermöhl. The analysis of the succession dynamics considered the following parameters: species richness, total density, relative abundance of taxa, descriptor species, Shannon-Wiener diversity and evenness. Fluctuations in total density were determined mainly by Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae, and Zygnemaphyceae. Higher values of abundance of the periphytic algae were recorded for small species of diatoms, known as efficient colonizers, which were abundant throughout the study period and showed rapid growth, as well as for Cyanobacteria and filamentous green algae (*Oedogonium* spp. and *Stigeoclonium* spp.), which were more abundant in the latter successional stages and showed slower growth. The first ones are among the *r*-strategists, while the latter are among the C-S strategists (more competitive algae in mesotrophic and stable systems). Shannon-Wiener diversity was high (2.2 to 3.1), with the highest value in the third week of study. According to the principal components analysis, nutrients concentrations, pH and turbidity were the most important abiotic factors for explaining the community structure changes throughout the succession.

**Key words:** community structure, diversity, periphyton, river, succession.

*Este artigo possui material adicional em sua versão eletrônica.*

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas, Depto. Biologia Geral, Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução, Campus Samambaia, C.P. 131, 74001-970, Goiânia, GO, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura, bl. G-90, Av. Colombo 5790, 87020-900, Maringá, PR, Brasil.

<sup>3</sup>Autor para correspondência: sirfe@hotmail.com

## Introdução

A sucessão ecológica é entendida como a colonização sucessiva e contínua de um local por certas populações de espécies, acompanhada da extinção de outras (Townsend *et al.* 2010). O processo de sucessão pode culminar em um ecossistema estável, quando características estruturais da comunidade apresentarem valores máximos e fluxo contínuo (Odum 1969). Contudo, comunidades em equilíbrio podem se desestruturar devido a perturbações no ambiente, as quais tendem a provocar espaços “novos” nos quais as espécies serão redirecionadas, competindo por espaço e recursos (Odum 1969).

Para comunidade de algas perifíticas, na fase inicial de sucessão, ocorre a formação de uma camada orgânica, seguida da instalação de bactérias em poucas horas, além de diatomáceas oportunistas. Diatomáceas maiores colonizam o substrato em período de um dia a algumas semanas. Por fim, há a colonização por algas verdes (Hoagland *et al.* 1982, 1986; Biggs 1996). As espécies pioneiras serão aquelas que possuem propágulos abundantes e disponíveis na água, no local e no momento em que as superfícies estão disponíveis para a colonização (Biggs 1996; Stevenson 1996), podendo ser classificadas como *r*-estrategistas. Estas espécies pioneiras facilitam a invasão do substrato por outras espécies, podendo também persistir até serem substituídas por um competidor mais apto (Odum 1988; Biggs *et al.* 1998).

No modelo conceitual de matriz de hábitat construído por Biggs *et al.* (1998), as estratégias de algas perifíticas de ecossistemas lóticos temperados são: estrategistas competitivas (C), algas mais competitivas em sistemas eutróficos e estáveis; estrategistas C-S, algas mais competitivas em sistemas mesotróficos e estáveis; estrategistas tolerantes ao estresse (S), algas mais competitivas em sistemas oligotróficos e estáveis; estrategistas ruderais (R), algas mais competitivas em sistemas mesotróficos e com distúrbios frequentes. Com este modelo, seria possível prever a biomassa do perifíton e os grupos funcionais de acordo com as condições dos ambientes em termos de distúrbios e recursos.

Dentre as variáveis ambientais, importantes no processo de sucessão do perifíton, destacam-se a velocidade de corrente, que pode afetar a dominância, resistência e resiliência das espécies (McCormick & Stevenson 1991; Peterson &

Stevenson 1992) além de luz, que pode definir o padrão de recolonização em ecossistemas lóticos (Steinman *et al.* 1991). Vários estudos demonstraram a influência da variabilidade ambiental sobre a organização da comunidade (Stevenson 1996; Cetto *et al.* 2004; Vercellino & Bicudo 2006; Borges & Necchi Jr. 2008; Felisberto & Rodrigues 2010).

Para ecossistema lótico brasileiro, Rodrigues & Bicudo (2001, 2004) registraram que a maior contribuição relativa das algas perifíticas em processo sucessional pertenceu às diatomáceas. Branco *et al.* (2005) e Borges & Necchi Jr. (2008), além de mostrarem a importância da disponibilidade de fósforo, revelaram que, sob influência da precipitação, as formas de crescimento das espécies de macroalgas alteraram-se em relação aos estádios iniciais e tardios.

As diatomáceas foram as algas dominantes (mais de 80% em abundância, comparados aos demais grupos de algas) na região lacustre do reservatório de Rosana (Felisberto & Rodrigues 2005), no Paraná. Com base nesse dado, este estudo levantou a hipótese que, no rio do Corvo, tributário do reservatório de Rosana, o processo sucessional iniciará com diatomáceas de dimensões menores, principalmente de espécies *r*-estrategistas.

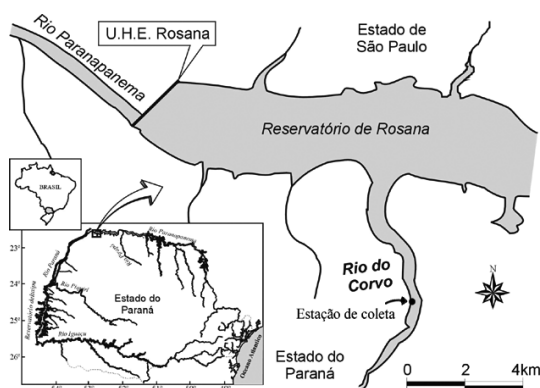
Considerando a importância do maior entendimento do processo de sucessão em ecossistemas lóticos subtropicais, o presente estudo tem por objetivo: a) descrever as mudanças na estrutura da comunidade de algas perifíticas em intervalos curtos (três dias), durante período de 21 dias; b) comparar a sequência de espécies abundantes e descritoras encontrada nas comunidades estudadas com o modelo de matriz conceitual para ecossistema lótico proposto por Biggs *et al.* (1998); e, c) identificar os principais fatores abióticos relacionados ao processo sucessional.

## Material e Métodos

### Área de Estudo

O local selecionado para a realização do presente estudo foi o rio do Corvo, localizado a aproximadamente 5 km da região lacustre do reservatório de Rosana (22°39'S e 52°46'W, Fig. 1). O rio do Corvo é um dos tributários da margem esquerda deste reservatório, que está localizado no trecho inferior do rio Paranapanema, município de Diamante do Norte, estado do Paraná.

O rio apresenta cerca de 300 m de largura e 6 m de profundidade máxima. As margens,



**Figura 1** – Área de estudo: reservatório de Rosana (Bacia do rio Paranapanema), no estado do Paraná, Brasil, com a localização da estação de coleta no rio do Corvo. **Figure 1** – Study site: Rosana reservoir (Paranapanema river basin), Paraná state, Brazil, showing the sampling station in Corvo stream.

praticamente desprovidas de vegetação arbórea, apresentaram diversas macrófitas emersas (*Typha* sp., *Sagittaria* sp. e *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth.), flutuantes (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Nymphaea* sp. e *Salvinia* sp.) e submersas enraizadas (*Cabomba furcata* Schult. & Schult., *Egeria densa* Planch., *Egeria najas* Planch., *Myriophyllum* sp. e *Utricularia foliosa* L.).

#### Amostragem e análise dos dados

A sucessão na comunidade perifítica foi acompanhada por 21 dias, entre 21 de novembro e 12 de dezembro de 2003, em intervalos de três dias. A primeira amostragem, correspondente ao terceiro dia de sucessão, ocorreu em 24 de novembro de 2003.

O clima na área de estudo, considerado subtropical de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (Peel *et al.* 2007), foi quente e chuvoso durante o período de estudo.

Foram utilizados substratos artificiais para a colonização e desenvolvimento das algas perifíticas, o que oferece as seguintes vantagens: a) superfície uniforme; b) facilidade de determinação da área colonizada; c) possibilidade de definir o tempo de colonização e os estádios de sucessão (Moschini-Carlos 1999). Assim, optou-se por um substrato semelhante às macrófitas aquáticas submersas, enraizadas no sedimento, abundantes no ambiente, porém de difícil remoção das algas devido à grande quantidade de folhas frágeis. Cada substrato artificial foi lavado em água corrente; posteriormente, ramos foram presos a

um peso por uma linha de náilon e a pedaços de isopor, que serviram como bóias. Estes substratos foram instalados a uma profundidade aproximada de 60 cm, próximo à margem esquerda do rio, e coletados ao longo do estudo de modo aleatório. O perifiton foi removido dos substratos com auxílio de uma escova e jatos de água destilada, sendo depois transferido para frascos (150 mL), fixado e preservado com solução de lugol acético 0,5%.

Os substratos artificiais empregados foram similares em forma e tamanho, possuindo área de 11,13 cm<sup>2</sup>. Para a estimativa da área do substrato artificial, uma planta de plástico foi cortada, todos os segmentos e o eixo principal foram digitalizados e as imagens foram transferidas para o programa Imagem-Pro Plus versão 4.5.0.29 (Media Cybernetics Inc. 2001).

Variáveis abióticas foram medidas no momento de coleta dos substratos artificiais: temperatura da água (oxímetro portátil marca YSI modelo 55), condutividade elétrica (condutivímetro portátil Digimed modelo DM2), pH (medidor de pH portátil Digimed modelo DM2), turbidez (turbidímetro portátil modelo Lamotte), vento (anemômetro). Amostras de 1 litro de água foram coletadas na sub-superfície da coluna de água para determinação dos seguintes nutrientes: nitrato = NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Mackereth *et al.* 1978), amônio = NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Solorzano 1969), nitrogênio total = NT (Valderrama 1981), fósforo total = PT (Valderrama 1981), fósforo dissolvido total = PDT (Valderrama 1981) e ortofosfato = PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (Golterman *et al.* 1978).

A identificação e a quantificação das algas foram realizadas em microscópio invertido, marca Olympus CK-2, utilizando o método de Utermöhl (1958). Os indivíduos foram contados em campos aleatórios (Bicudo 1990), até atingir a estabilização da curva e até que as espécies abundantes contabilizassem um mínimo de 100 indivíduos. O cálculo quanto à eficiência de contagem de espécies e número de indivíduos de cada espécie variou de 90 a 97%, seguindo o critério de Pappas & Stoermer (1996). O enquadramento taxonômico adotado foi o proposto por Round (1965, 1971), seguindo-se recomendação de Bicudo & Menezes (2006). Os valores da densidade foram convertidos por unidade de área do substrato (cm<sup>2</sup>), através da equação adaptada por Ros (1979).

Para avaliar a estrutura da comunidade, foram utilizadas: a) densidade expressa em número de indivíduos por cm<sup>2</sup>; b) diversidade de espécies (índice de Shannon-Wiener) e equitabilidade (índice

de Simpson), os quais levam em consideração o número de espécies (riqueza) e o número de indivíduos em cada espécie (abundância). Foram empregadas as seguintes categorias quanto à abundância relativa de cada táxon: dominante (D) = acima de 10.000; abundante (A) = 5.000 a 10.000; numeroso (N) = 2.000 a 5.000; comum (C) = 500 a 2.000; pouco frequente (PF) = 100 a 500; raro (R) = 10 a 100 (Brown 1976).

A contribuição relativa das espécies mais abundantes (descriptoras da comunidade) em cada estágio da sucessão foi definida de acordo com a soma dos valores da densidade das espécies que tiveram uma porcentagem acima de 2% da densidade total e que juntas atingissem mais de 50% da densidade total de cada estágio.

Foi construída uma matriz com as variáveis abióticas (13) e os tempos de sucessão (8) para a Análise de Componentes Principais (ACP), usando o programa PC-ORD, versão 5.0. A análise foi realizada após transformação das variáveis  $[(X_{ij}-X_i)/S_i]$ . Para a interpretação dos eixos, foram considerados os eixos com valores maiores que o modelo de Broken-Stick (Jackson 1993).

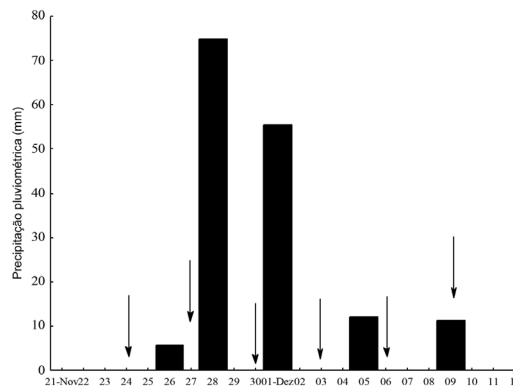
## Resultados

Houve maior volume de precipitação no período compreendido entre o final de novembro (final da 1ª semana de estudo) e início de dezembro (2ª semana) (Fig. 2).

Os dois primeiros eixos da ACP explicaram 71,7% da variabilidade conjunta dos dados abióticos (Fig. 3, Tab. 1). No eixo 1 (49,2%), tempo 0 e 6º dia (fase inicial da sucessão) ficaram próximos no lado positivo, relacionando-se aos maiores valores de nitrato, pH e nitrogênio total, enquanto 15º e 18º dias, posicionados no lado negativo, foram relacionadas aos maiores valores de fósforo total, fósforo dissolvido total e turbidez. No eixo 2 (22,6%), 9º e 12º dias ficaram próximos, em função dos maiores valores de precipitação, enquanto 3º e 21º dias se posicionaram mais distantes dos demais dias, devido aos maiores valores de temperatura da água, condutividade e oxigênio dissolvido (Tab. 1, Fig. 3).

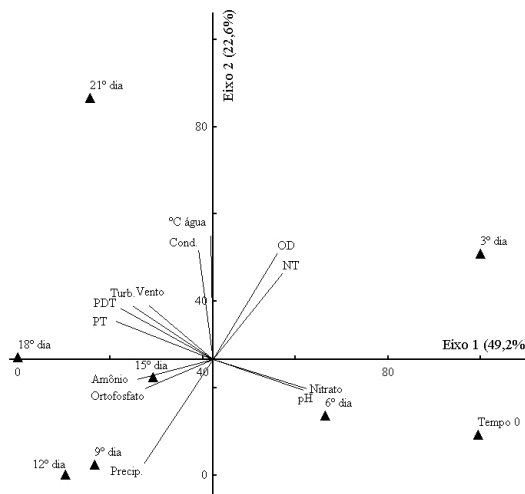
A densidade total do fitoriflton variou de 349 (3º dia de sucessão) a  $1.863 \times 10^3$  ind.cm<sup>-2</sup> (15º dia, Fig. 4). A densidade do 15º dia apresentou valor mais elevado que as densidades dos 3º, 6º, 9º, 12º e 21º dias de colonização.

Ao analisar o número de indivíduos em cada classe, foi verificado o predomínio de



**Figura 2** - Precipitação no rio do Corvo, reservatório de Rosana, Estado do Paraná, Brasil, no período de 21 de novembro a 12 de dezembro de 2003. Setas indicam quando as coletas do periflton foram realizadas.

**Figure 2** - Precipitation on Corvo stream, Rosana reservoir, Paraná state, Brazil, between 21 November and 12 December 2003. Arrows indicate when periphyton samples were taken.



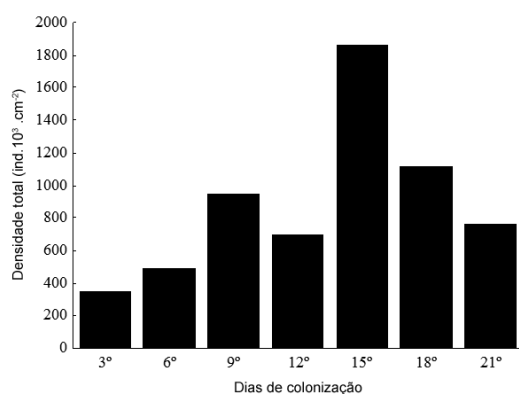
**Figura 3** - Análise de componentes principais (ACP) com base em matriz de variáveis abióticas (13) e tempos de sucessão (8) em comunidade perifítica em substratos artificiais, submersos no rio do Corvo, analisada no período de 21 de novembro a 12 de dezembro de 2003. °C água = temperatura da água, Cond.= condutividade elétrica, NT= nitrogênio total, OD= oxigênio dissolvido, PDT= fósforo total dissolvido, Precip.= precipitação, PT= fósforo total, Turb.= turbidez.

**Figure 3** - Principal component analysis (PCA) based on abiotic variables (13) and succession times (8) of the periphytic algal community on artificial substrate when submerged in Corvo stream, analyzed from 12 November to 12 December 2003. °C água = water temperature, Cond.= electrical conductivity, NT= total nitrogen, OD= dissolved oxygen, PDT= total dissolved phosphorus, Precip.= precipitation, PT= total phosphorus, Turb.= turbidity.

**Tabela 1** - Correlação de Pearson entre as variáveis abióticas e os dois primeiros eixos da Análise de Componentes Principais.

**Table 1** - Pearson Correlation of abiotic variables with the first two axes of Principal Components Analysis.

Variáveis abióticas	Eixo 1	Eixo 2
pH	0.8667	-0.1975
Condutividade	-0.1375	0.7081
Oxigênio dissolvido	0.6152	0.6882
Temperatura da água	-0.021	0.8057
Turbidez	-0.771	0.3458
Fósforo total	-0.9284	0.248
Fósforo total dissolvido	-0.8865	0.3302
Ortofosfato	-0.6494	-0.1882
Nitrogênio total	0.6677	0.5589
Nitrato	0.8908	-0.1881
Ion amônio	-0.7244	-0.1314
Vento	-0.6176	0.3503
Precipitação	-0.6592	-0.675
% total da variância	49.176	22.555
% acumulada da variância	49.176	71.73

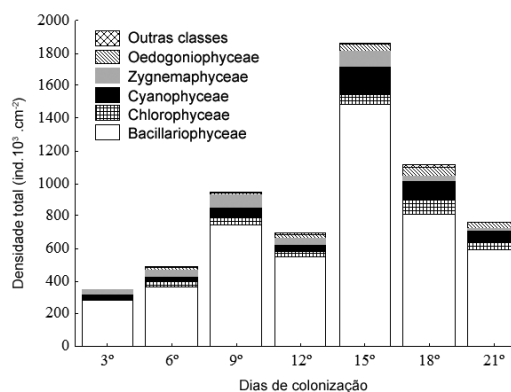


**Figura 4** - Variação da densidade total de algas perifíticas, analisada em substratos artificiais submersos no rio do Corvo, reservatório de Rosana, Estado do Paraná, Brasil, no período de 21 de novembro a 11 de dezembro de 2003.

**Figure 4** - Total density variation of periphytic algae on artificial substrate submerged on Corvo stream, Rosana reservoir, Paraná state, Brazil, analyzed in the period of 21 November to 12 December 2003.

algas unicelulares da classe Bacillariophyceae (diatomáceas) (Apêndice I). De forma geral, as diatomáceas apresentaram densidade média elevada em comparação com as demais classes (Fig. 5). No 3º dia, as diatomáceas atingiram 80,6% da densidade total. No 6º dia, a representatividade das diatomáceas em termos de densidade total diminuiu para 73,9%, variando entre 79% e 80% entre os 9º e 15º dias. No 18º dia, a densidade das diatomáceas voltou a diminuir, passando a representar 72,4% do total (Fig. 5).

As densidades de todas as demais classes de algas (19 a 27,6% de táxons) foram mais elevadas nos 15º e 18º dias (Fig. 5). Cyanophyceae foi a segunda classe em densidade nos 12º, 15º, 18º e 21º dias. Zygnemaphyceae foi a segunda mais representativa nos 3º, 6º e 9º dias sucessionais. A contribuição das Chlorophyceae aumentou no 6º dia (terceira maior classe em densidade), apresentando maiores valores nos 15º e 18º dias. A participação das Xanthophyceae, também observadas no 18º dia, foi representada por  $4,42 \times 10^3$  ind.cm<sup>-2</sup>. Oedogoniophyceae, representada pelos gêneros *Oedogonium* e *Bulbochaete*, foi a terceira classe com maior densidade no 21º dia de sucessão (Fig. 5).



**Figura 5** - Variação da densidade das classes de algas perifíticas em substratos artificiais submersos no rio do Corvo, reservatório de Rosana, Estado do Paraná, Brasil, analisada no período de 21 de novembro a 11 de dezembro de 2003. Chrysophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae, Ulothricophyceae e Xanthophyceae foram agrupadas como outras classes.

**Figure 5** - Density variation of periphytic algal classes on artificial substrate submerged on Corvo stream, Rosana reservoir, Paraná state, Brazil, analyzed in the period of 21 November to 12 December 2003. Chrysophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae, Ulothricophyceae and Xanthophyceae were grouped into other classes.

Onúmero de táxons representados nas categorias numeroso, abundante e dominante pertenceu às diatomáceas (31, 57 e 75, respectivamente), o que representou de 77,8 a 100%. Por outro lado, a maioria dos incluídos nas categorias comum, pouco frequente e raro pertenceu a Zygnemaphyceae (10, 34 e 36, respectivamente), representando cerca de 42,8 a 56,2% dos taxons (Apêndice 1).

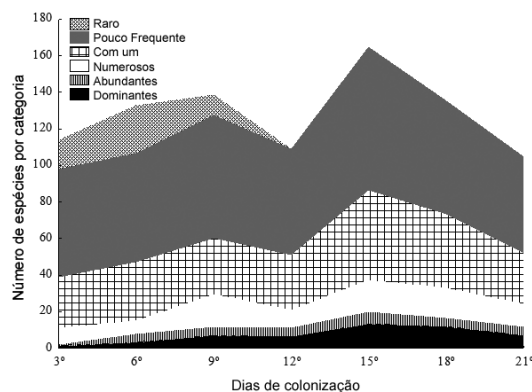
As espécies raras ocorreram no início do processo de colonização, sobretudo no 6º dia (26 táxons ao todo, Fig. 6), sendo que Zygnemaphyceae teve maior número de espécies (53% no início da sucessão e 36% no 9º dia). Os táxons dominantes, comuns e pouco frequentes apresentaram maior número de espécies no 15º dia sucessional (Fig. 6). *Eunotia lineolata* Hust., *E. flexuosa* Bréb. e *Oedogonium* spp. aumentaram a ocorrência de pouco frequentes e comuns nos 3º e 6º dias para numerosos a abundantes nos estádios seguintes. *Pseudanabaena catenata* Laut. e *Stigeoclonium* spp. passaram de pouco frequentes no início, para numerosos no final do período de estudo.

*Fragilaria capucina* Desm. foi a única espécie dominante durante todo o período (Fig. 7). Os táxons mais abundantes no 3º dia sucessional contribuíram com 72% da comunidade de algas perifíticas, incluindo *Gomphonema parvulum* (Kütz.) Kütz., *Ulnaria ulna* (Nitz.) Com., *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czar., *P. catenata*, *Eunotia sudetica* O. Müll., *Encyonema lunatum* (Smith) Van Heurck e *F. capucina*, enquanto no 6º dia a contribuição foi de 68%. Porém, *U. ulna* e *E. lunatum* tiveram abundância menor e foram substituídas por *Cymbella* sp. e *Encyonema minutum* (Hil.) Man. (Fig. 7a e 7b). No 9º dia, estes dois últimos táxons, e *E. lunatum*, *Komvophoron crassum* (Voz.) Anag. et Kom., *A. minutissimum*, *G. parvulum* e *F. capucina* contribuíram com 72% (Fig. 7c). No 12º dia, *E. camelus* Ehr., *E. sudetica*, *Oedogonium* sp. 3, *P. catenata* e *E. mesianum* (Chol.) Mann substituíram *Cymbella* sp. e *K. crassum* quanto à maior abundância (Fig. 7d). *Komvophoron minutum* (Skuja) Anag. & Kom. passou a integrar o grupo de espécies mais abundantes e, com as demais, contribuíram com 73,5% da comunidade no 15º dia (Fig. 7e). *Oedogonium* sp. 2, *Chroococcus minimus* (Keis.) Lemm., *Gomphonema gracile* Ehr., *Achnantheidium exiguum* (Grun.) Czar., *E. sudetica*, *Oedogonium* sp. 4, junto com os outros táxons, contribuíram com mais de 70% da comunidade no 18º dia (Fig. 7f). Apesar do último dia (21º dia) apresentar táxons

com maior contribuição na comunidade (Fig. 7g), estes táxons estiveram mais próximos em relação à densidade, o que diferiu dos 15º, 9º, 6º e 3º dias, nos quais *F. capucina* destacou-se dos demais.

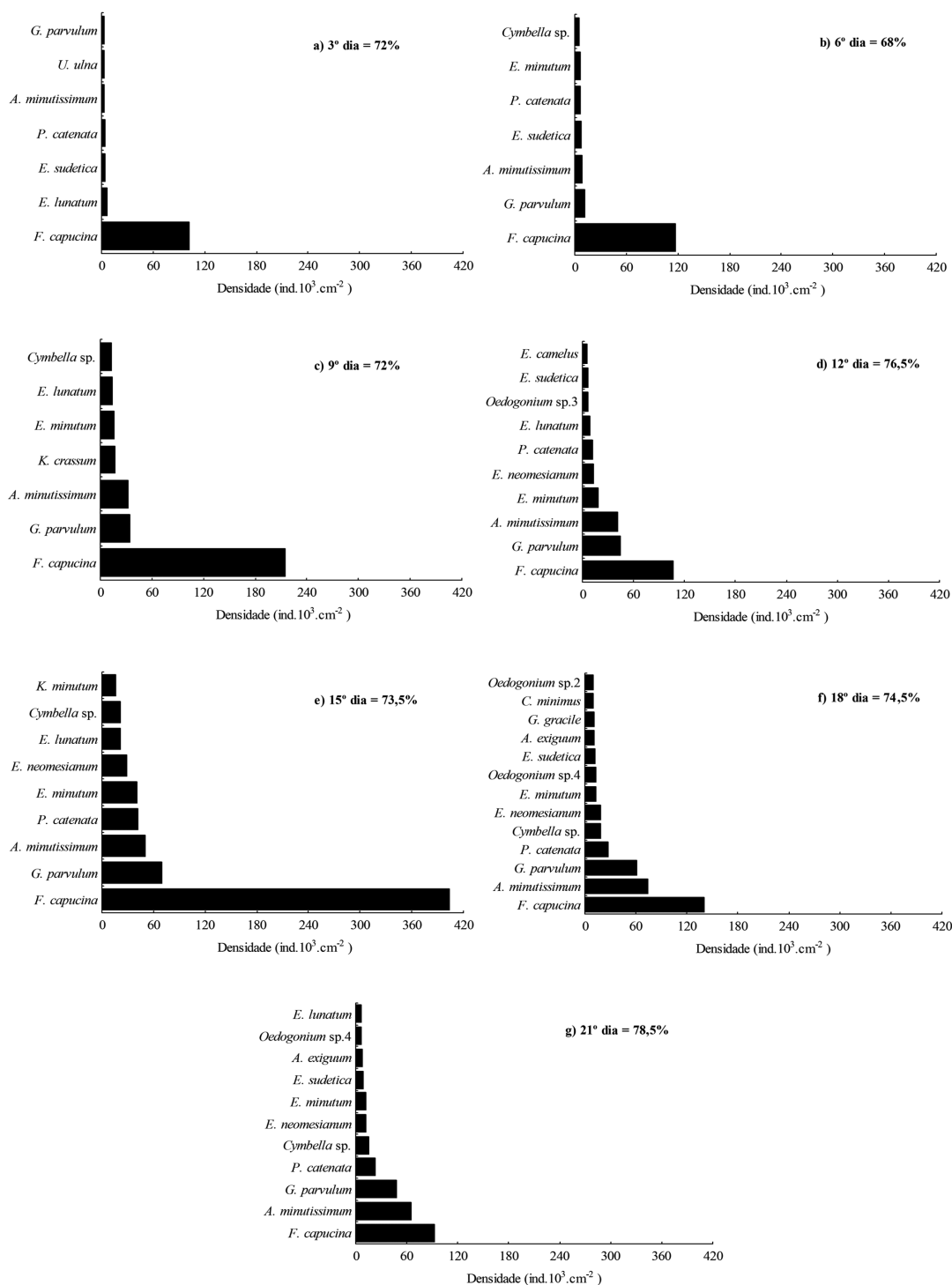
Dentre os 35 táxons do modelo de matriz conceitual para ambientes lóticos temperados, cinco diatomáceas foram aqui abundantes durante todo o período: *A. minutissimum*, *E. minutum*, *G. parvulum*, *F. capucina* e *U. ulna* (Fig. 7), juntamente com *Cymbella affinis* Kütz., abundantes no 15º dia, estão entre as *r*-estrategistas. Entre os nove táxons C-S-estrategistas descritos por Biggs *et al.* (1998), seis (*Mougeotia*, *Navicula cryptocephala* Kütz., *Oedogonium*, *Phormidium*, *Spirogyra* e *Stigeoclonium*) foram aqui descritos como numerosos, principalmente a partir do 12º dia sucessional, ou seja, a partir dos estádios intermediários até o período final, em especial *Oedogonium* e *Stigeoclonium*.

A riqueza de espécies (S) (Apêndice 1) e a diversidade de Shannon-Wiener (H) apresentaram tendências muito similares (Fig. 8). No entanto, a riqueza de espécies e a diversidade de Shannon-Wiener atingiram valores máximos nos 15º e 18º dias de sucessão, respectivamente. A equitabilidade e o índice de dominância na comunidade de algas perifíticas apresentaram maiores valores (0,66 e 0,86, respectivamente) nas fases finais da sucessão, quando a riqueza de espécies foi mais baixa (Fig. 8).

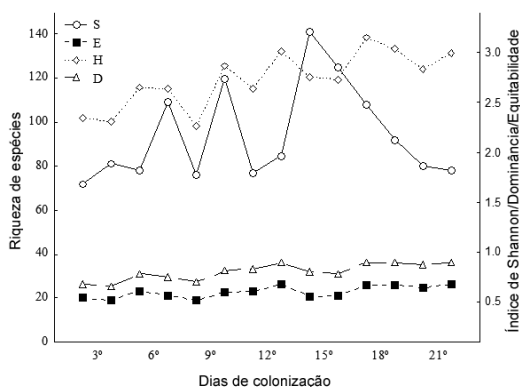


**Figura 6** - Número de espécies, por classes de abundância, de algas perifíticas em substratos artificiais, submersos no rio do Corvo, reservatório de Rosana, Estado do Paraná, Brasil, analisadas no período de 21 de novembro a 12 de dezembro de 2003.

**Figure 6** – Number of species of periphytic algae on artificial substrate submerged on Corvo stream, Rosana reservoir, Paraná state, Brazil, analyzed in the period of 21 November to 12 December 2003, represented by different abundance classes.



**Figura 7** - Espécies mais abundantes (descritoras) de algas perifíticas em substratos artificiais, submersos no rio do Corvo, reservatório de Rosana, Estado do Paraná, Brasil, em cada tempo de sucessão, analisada no período de 21 de novembro a 12 de dezembro de 2003. Os valores em percentual (soma das densidades das espécies) estão indicados nas letras de a-g. **Figure 7** - Most abundant species (descriptor species) in the periphytic algal community on artificial substrates when submerged in the Corvo stream, Rosana reservoir, Paraná state, Brazil, in each succession time, analyzed in the period of 21 November to 12 December 2003. The values in percentage (sum of species densities) are indicated in the letters a-g.



**Figura 8** - Riqueza de espécies (S), diversidade de Shannon-Wiener (H), índice de dominância (D) e equitabilidade (E) em comunidades de algas perifíticas, em substratos artificiais submersos no rio do Corvo, reservatório de Rosana, Estado do Paraná, Brasil, analisadas no período de 21 de novembro a 12 de dezembro de 2003. **Figure 8** - Species richness (S), Shannon-Wiener diversity (H), dominance (D) and evenness indexes (E) in periphytic algal community on artificial substrate when submerged in Corvo stream, Rosana reservoir, Paraná state, Brazil, analyzed in the period of 21 November to 12 December 2003.

## Discussão

A sucessão das algas perifíticas no rio do Corvo foi caracterizada principalmente pela maior abundância de espécies pequenas de diatomáceas, consideradas colonizadores e de crescimento rápido, durante todo o período de estudo; e de cianobactérias e algas verdes filamentosas, de crescimento mais lento, mais abundantes nos estádios tardios. As primeiras são consideradas, de acordo com Biggs *et al.* (1998), como *r*-estrategistas, enquanto as últimas estão entre as C-S estrategistas. As diatomáceas menores foram os colonizadores iniciais em substrato artificial em ambiente lótico subtropical (Rodrigues & Bicudo 2004), como também documentado para regiões temperadas (Hoagland *et al.* 1982, 1986; Biggs 1996).

O predomínio das diatomáceas pode estar relacionado ao fato de muitas espécies terem distribuição mais ampla em relação às variações ambientais, apresentarem estratégias adaptativas com alta resistência a distúrbios físicos, grande capacidade de adesão a substratos (formas adnatas presas pelo canal da rafe), altas taxas de migração e tamanho relativamente pequeno (Biggs *et al.* 1998; Stoermer & Julius 2003). Muitas espécies

de *Cymbella*, *Encyonema*, *Gomphonema*, *Synedra* e *Eunotia* possuem mecanismos de adaptação aos diversos substratos, como pedúnculos de fixação ao substrato e poros mucilaginosos que facilitam a adesão ao substrato (Hoagland *et al.* 1982; Rodrigues & Bicudo 2004).

Padrões nas características de crescimento populacional em diatomáceas de diferentes espécies indicam diferentes estratégias ecológicas. Estas estratégias variam de espécies oportunistas, que se reproduzem rapidamente e dispersam quando o fornecimento de nutrientes se torna limitante, à espécies competitivas, com crescimento mais lento, que utilizam os recursos de forma mais eficiente (Stevenson *et al.* 1991). Estas estratégias vão se alterando, na habilidade de proliferação em espaços recentemente vazios (Peterson 1996; Biggs *et al.* 1998), na exploração de fontes de nutrientes inorgânicos localizadas e/ou passageiras, na resistência às ondas e correntes (Biggs & Thomsen 1995). Tais habilidades para proliferar e resistir aos distúrbios revelam a grande plasticidade das espécies em se estabelecer e persistir em diferentes condições ambientais (Stevenson & Peterson 1989; Stevenson *et al.* 1991; Biggs & Thomsen 1995; Peterson 1996).

Este fato pode explicar a presença de *Achnantheidium minutissimum*, *Encyonema mesianum*, *E. minutum*, *Eunotia sudetica*, *Fragilaria capucina* e *Gomphonema parvulum*, espécies colonizadoras iniciais e que se mantiveram abundantes até o final do estudo. Tais espécies, junto com *Cymbella affinis*, são citadas por Biggs *et al.* (1998) como pertencentes a um grupo particular (seleção R) de espécies pequenas, colonizadoras, com crescimento rápido e baixa biomassa, encontradas em ambientes perturbados estáveis, com fornecimento de recursos de moderado a alto (mesotrófico). Por sua vez, táxons arrafides, como *F. capucina* e *Ulnaria ulna*, são colonizadores mais ativos que monorrafides e birrafides, uma vez que formam colônias que se aderem apicalmente ao substrato, projetando-se verticalmente (Stevenson & Peterson 1989).

Dentre as algas verdes filamentosas citadas, no modelo de matriz conceitual de Biggs *et al.* (1998), *Oedogonium*, *Spirogyra* e *Stigeoclonium*, classificados como seleção C-S, são mais competitivos em níveis intermediários de nutrientes em habitats estáveis, porém com filamentos mais vulneráveis ao arraste. Possivelmente, a presença de células basais, com estruturas para fixação ao



substrato, tenha favorecido a permanência destes representantes nos estádios finais do estudo. *Oedogonium* pode ser encontrado aderido a diversos tipos de substratos (Lee 2008), e estar dominante em ambientes com disponibilidade de nutrientes e correnteza com baixa velocidade ou inexistente (Biggs 1996; Biggs *et al.* 1998). As formas de vida filamentosas dividiram a representatividade junto com formas unicelulares ao longo do processo sucessional, principalmente em níveis de distúrbios mais moderados (Rodrigues & Bicudo 2004).

Em determinados ambientes, a maior quantidade de substratos disponíveis para colonização do perifiton pode proporcionar maior heterogeneidade na comunidade e, assim, aumentar a diversidade de espécies (Stevenson 1997). Com isso, quanto mais diversas as condições do ambiente, maior poderá ser o número de espécies (Lampert & Sommer 1997). No rio do Corvo, antes que a comunidade de algas perifíticas atingisse o pico de densidade, as oscilações registradas revelaram a capacidade de uma nova comunidade estabelecer-se ou recuperar-se, apesar das alterações/perturbações no ambiente. A relação do aumento da diversidade de espécies nas comunidades de algas perifíticas, com aumento da resiliência em ambientes mais heterogêneos, seria devido ao uso mais eficiente de uma quantidade maior de recursos disponíveis (Stevenson 1997; Lampert & Sommer 1997). Os valores da diversidade de Shannon-Wiener deste estudo foram superiores (2,2 a 3,1) aos encontrados por Lam & Lei (1999) para ecossistema lótico tropical (1,5 a 2,3 ind.bits), com maiores índices de diversidade e riqueza registrados no 15º dia de sucessão.

Neste estudo de curta duração, sugere-se que a concentração de nutrientes, o pH e a turbidez (como evidenciado na ACP), foram os principais fatores controladores do processo de colonização da comunidade perifítica, sendo ainda influenciada pela precipitação pluviométrica. É esperado que, durante o curso direcional da colonização, ocorram mudanças na composição de espécies, aumento da diversidade e substituição de espécies estrategistas *r* em grande parte por estrategistas em *K* (Odum 1988). Neste sentido, os resultados mostraram que as diatomáceas foram o grupo dominante, sendo *r*-estrategistas e os principais colonizadores, além de determinarem a diversidade durante todo o período. Desta forma, os resultados deste estudo confirmam a hipótese levantada no início.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Nupélia e PEA, pelo apoio logístico na execução do projeto e suporte técnico-científico. A CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de produtividade da segunda autora. Esta pesquisa está inserida no Projeto PRONEX “Produtividade em Reservatório: relações com o estado trófico e predação”, desenvolvido pelo Nupélia.

## Referências

- Bicudo, C.E.M. & Menezes, M. 2006. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil. Rima, São Carlos. 512p.
- Bicudo, D.C. 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifiton. *Acta Limnologica Brasiliensis* 3: 459-475.
- Biggs, B.J.F. 1996. Patterns in benthic algal of streams. *In: Stevenson, R.J.; Bothwell, M.L. & Lowe, R.L.* (eds). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, New York. Pp. 31-56.
- Biggs, B.J.F.; Stevenson, R.J. & Lowe, R.L. 1998. A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Archiv für Hydrobiologie* 143: 21-56.
- Biggs, B.J.F. & Thomsen, H.A. 1995. Disturbance of stream periphyton by perturbations in shear stress: time to structural failure and differences in community resistance. *Journal of Phycology* 31: 233-241.
- Borges, F.R. & Necchi Jr., O. 2008. Short-term successional dynamics of a macroalgal community in a stream from northwestern São Paulo State, Brazil. *Acta Botanica Brasílica* 22: 453-463.
- Branco, C.C.Z.; Branco, L.H.Z.; Moura, M.O. & Bertusso F.R. 2005. The succession dynamics of a macroalga community after a flood disturbance in a tropical stream from São Paulo State, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 28: 267-275.
- Brown, H.D. 1976. A comparison of the attached algal communities of a natural and an artificial substrate. *Journal of Phycology* 12: 301-306.
- Cetto, J.M.; Leandrini, J.A.; Felisberto, S.A. & Rodrigues, L. 2004. Comunidade de algas perifíticas no reservatório de Irai, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum, Biological Sciences* 26: 1-7.
- Felisberto, S.A. & Rodrigues, L. 2005. Comunidade de algas perifíticas em reservatórios de diferentes latitudes. *In: Rodrigues, L.; Thomaz, S.M.; Agostinho, A.A. & Gomes, L.C.* (eds). *Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*. Rima, São Carlos. Pp. 97-114.
- Felisberto, S.A. & Rodrigues, L. 2010. Periphytic algal community in artificial and natural substratum in a tributary of the Rosana reservoir (Corvo Stream, Paraná State, Brazil). *Acta Scientiarum, Biological Sciences* 32: 373-385.

- Golterman, H.L.; Clymo, R.S. & Ohmstad, M.A.M. 1978. Methods for physical and chemical analysis of freshwaters. Blackwell Scientific, Oxford. 214p.
- Hoagland, K.D.; Roemer, S.C. & Rosowski, J.R. 1982. Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms Bacillariophyceae. *American Journal of Botany* 69: 188-213.
- Hoagland, K.D.; Zlotski, A. & Peterson, C.G. 1986. The source of algal colonizer on rock substrates in a freshwater impoundment. *In: Evans, L.V. & Hoagland, K.D. (eds). Algal biofouling. Elsevier Science, Amsterdam. Pp. 21-39.*
- Jackson, D.A. 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristic and statistical approaches. *Ecology* 74: 2204-2214.
- Lam, P.K.S. & Lei, A. 1999. Colonization of periphytic algae on artificial substrates in a tropical stream. *Diatom Research* 14: 307-322.
- Lampert, W. & Sommer, U. 1997. Limnology: the ecology of lakes and streams. Oxford University Press, New York. 382p.
- Lee, R.E. 2008. Phycology. 2<sup>a</sup> ed. Cambridge University Press, Cambridge. 644p.
- Mackereth, F.J.H.; Heron, J. & Talling, J.F. 1978. Water analysis: some revised methods for limnologists. Titus Wilson & Sons Ltd, Kendall. (Freshwater Biological Association Scientific Publication n° 36). 117p.
- McCormick, P.V. & Stevenson, R.J. 1991. Mechanisms of benthic algal succession in lotic environments. *Ecology* 72: 1835-1848.
- Media Cybernetics. 2001. Imagem-Pro Plus. Versão 4.5.0.29 for Windows. Proven Solution, Inc., Silver Spring.
- Moschini-Carlos, V. 1999. Importância, estrutura e dinâmica da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos continentais. *In: Pompêo, M.L.M. (ed.). Perspectivas da limnologia no Brasil. Gráfica e Editora União, São Luís. Pp. 1-11.*
- Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262-270.
- Odum, E.P. 1988. *Ecologia*. Ed. Guanabara, Rio de Janeiro. 434p.
- Pappas, J.L. & Stoermer, E.F. 1996. Quantitative method for determining a representative algal sample count. *Journal of Phycology* 32: 693-696.
- Peel, M.C.; Finlayson, B.L. & McMahon, T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences* 11: 1633-1644.
- Peterson, C.G. 1996. Mechanisms of lotic microalgal colonization following space-clearing disturbances acting at different spatial scales. *Oikos* 77: 417-435.
- Peterson, C.G. & Stevenson, R.J. 1992. Resistance and resilience of lotic algal communities: importance of disturbance timing and current. *Ecology* 73:1445-1461.
- Rodrigues, L. & Bicudo, D.C. 2001. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 24: 235-248.
- Rodrigues, L. & Bicudo, D.C. 2004. Periphytic algae. *In: Thomaz, S.M.; Agostinho, A.A. & Hahn, N.S. (eds). The upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation. Backhuys Publishers, Leiden. Pp. 125-143.*
- Ros, J. 1979. *Práticas de Ecologia*. Ed. Omega, Barcelona. 181p.
- Round, F.E. 1965. *The biology of the algae*. Edward Arnold Publ. Ltd, London. 269p.
- Round, F.E. 1971. The taxonomy of the Chlorophyta, 2. *British Phycological Journal* 6: 235-264.
- Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnology and Oceanography* 14: 799-801.
- Steinman, A.D.; Mulholland, P.J.; Palumbo, A.V.; Flum, T.F. & DeAngelis, D.L. 1991. Resilience of lotic ecosystems to a light-elimination disturbance. *Ecology* 72: 1299-1313.
- Stevenson, R.J. 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. *In: Stevenson, R.J.; Bothwell, M.L. & Lowe, R.L. (eds). Algal ecology: freshwater benthic ecosystems. Academic Press, San Diego. Pp. 3-30.*
- Stevenson, R.J. 1997. Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *Journal of North American Benthological Society* 16: 248-262.
- Stevenson, R.J. & Peterson, C.G. 1989. Variation in benthic diatom (Bacillariophyceae) immigration with habitat characteristics and cell morphology. *Journal of Phycology* 25: 120-129.
- Stevenson, R.J.; Peterson, C.G.; Kirschtel, D.B.; King, C.C. & Tuchman, N.C. 1991. Density-dependent growth, ecological strategies, and effects of nutrients and shading on benthic diatom succession in streams. *Journal of Phycology* 27: 59-69.
- Stoermer, E.F. & Julius, M.L. 2003. Centric diatoms. *In: Wehr, J.D. & Sheath, R.G. (eds). Freshwater algae of North America: ecology and classification. Academic Press, San Diego. Pp. 559-594.*

- Townsend, C.R.; Begon, M. & Harper, J.P. 2010. Fundamentos em ecologia. 3<sup>a</sup>. ed. Ed. Artmed, Porto Alegre. 576p.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton-methodik. Mitteilungen. Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie 9: 1-38.
- Valderrama, J.C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. Marine Chemistry 10: 109-122.
- Vercellino, I.S. & Bicudo, D.C. 2006. Sucessão da comunidade de algas perifíticas em reservatório oligotrófico tropical (São Paulo, Brasil): comparação entre período seco e chuvoso. Revista Brasileira de Botânica 29: 363-377.