

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL**

ADRIANO GOLDNER COSTA

**RESPOSTAS DA COMUNIDADE DE ALGAS PERIFÍTICAS
SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE LUZ NA LAGOA DA
UFES (VITÓRIA, ES)**

**VITÓRIA
2011**

ADRIANO GOLDNER COSTA

**RESPOSTAS DA COMUNIDADE DE ALGAS PERIFÍTICAS
SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE LUZ NA LAGOA DA
UFES (VITÓRIA, ES)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal, na área de concentração Fisiologia Vegetal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Valéria de Oliveira
Fernandes

Coorientador: Prof. Dr. Antelmo Ralph
Falqueto

VITÓRIA

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

C837r Costa, Adriano Goldner, 1985-
Respostas da comunidade de algas perifíticas sob
diferentes intensidades de luz na lagoa da UFES (Vitória, ES) /
Adriano Goldner Costa. – 2011.
138 f. : il.

Orientadora: Valéria de Oliveira Fernandes.
Coorientador: Antelmo Ralph Falqueto.
Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e
Naturais.

1. Alga. 2. Luz. 3. Sucessão ecológica. 4. Lagos artificiais. I.
Fernandes, Valéria de Oliveira. II. Falqueto, Antelmo Ralph,
1979-. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de
Ciências Humanas e Naturais. IV. Título.

CDU: 57

ADRIANO GOLDNER COSTA

**RESPOSTAS DA COMUNIDADE DE ALGAS PERIFÍTICAS
SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE LUZ NA LAGOA DA
UFES (VITÓRIA, ES)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal, na área de concentração Fisiologia Vegetal.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Valéria de Oliveira Fernandes
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

Prof. Dr. Antelmo Ralph Falqueto
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador

Prof. Dr. Camilo Dias Júnior
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador interno

Prof^a. Dr^a. Carla Ferragut
Instituto de Botânica de São Paulo
Examinadora externa

Dedico este trabalho aos meus pais, Cleonice e Ilson, a quem eu devo todo amor, incentivo e apoio incondicionais; à minha orientadora Valéria Fernandes, por toda confiança e carinho depositados em mim; à equipe do LAFEAC e a todos os amigos que de alguma forma contribuíram para a concretização desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Valéria de Oliveira Fernandes pela grande amizade, pelos ensinamentos, por acreditar no meu potencial e me abrir as portas do mundo científico, mostrando-me os melhores caminhos a serem seguidos e ensinando-me o espírito de trabalho em equipe, e, sobretudo, pela confiança depositada em mim para a realização deste estudo.

A todos os amigos do Laboratório de Taxonomia e Ecologia de Algas Continentais (LATEAC), que de várias formas me ajudaram na realização desse trabalho, desde a etapa de elaboração até a montagem e instalação do experimento, além do fundamental apoio durante as coletas e análises de laboratório: Bruna D'Ângela, Danilo, Larissa, Bruna Cavati, Thaís Almeida, Karol, Thaís Barcellos, Stéfano, Juliana Santiago, Paula, Sâmia, Ranyelle, Caio, Filipe, Telma, Raíssa, Bruno, Lorena e Mônica.

Em especial, agradeço à Ranyelle, amiga de todas as horas, pela prontidão em me ajudar, pelo constante apoio emocional e por ter me aturado ao longo de todo esse tempo, auxiliando nas coletas, análises e discussões. Essa conquista também é sua!

Ao Stéfano Zorzal pela grande amizade e pela constante disposição em me ajudar desde o início do experimento até as etapas finais desta pesquisa.

À Larissa por todo companheirismo durante a minha jornada no laboratório, pela boa vontade em me ajudar, pela preocupação constante e por compartilhar comigo todas as emoções vivenciadas no decorrer do mestrado.

Às perifitólogas Fabíola, Bruna Cavati e Tháta pela amizade, pelas valiosas discussões e ensinamentos acerca da comunidade perifítica e por estarem sempre dispostas a me ajudar.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (PPGBV) e toda sua equipe de professores pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa e pela transmissão de conhecimentos.

Aos amigos e funcionários do Setor Botânico pelo auxílio em várias etapas do curso, pelos momentos de descontração, pela amizade e incentivo. Em especial, agradeço ao Ricardo, secretário do PPGBV, por estar sempre disposto a nos ajudar e não medir esforços para isso e à Beth, pela amizade, carinho, companheirismo e brincadeiras, tornando nossos dias mais alegres. Agradeço também ao setor pela utilização do espaço físico, materiais e equipamentos.

A todos os amigos da turma de mestrado, composta por pessoas especiais de quem sempre sentirei saudades, por todos os bons momentos que passamos juntos, pelas valiosas sugestões e pelo aprendizado adquirido. Em especial agradeço às amigas Raiany, Jéssica e Natália, com quem passei boa parte da minha vida acadêmica, por todo companheirismo e carinho e pela enorme confiança e incentivo.

Ao Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), representado pela Prof^a. Dr^a. Marina Suzuki e sua aluna de doutorado Bruna, por nos receber de braços abertos e disponibilizar espaço físico, equipamentos, reagentes e equipe para análise de nutrientes.

Ao Prof. Dr. Antelmo Ralph Falqueto pela coorientação, revisão da dissertação e valiosas sugestões.

Ao Prof. Dr. Camilo Dias Júnior por sua disposição em me ajudar e pela contribuição como examinador interno da banca.

À Prof^a. Dr^a. Carla Ferragut, pesquisador científico do Instituto de Botânica de São Paulo, pela atenção, pela prontidão em me ajudar e pela contribuição como examinadora externa da banca.

À Prof^a. Dr^a. Denise de Campos Bicudo, pesquisador científico do Instituto de Botânica de São Paulo, pela atenção e contribuição como suplente externa da banca.

À Prof^a. Dr^a. Maria do Carmo Pimentel Batitucci, coordenadora do PPGBV, por todo apoio e pela contribuição como suplente interna da banca.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Pós-graduação.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) por ter me concedido a oportunidade de prosseguir o mestrado, permitindo meus deslocamentos de São Mateus à Vitória para a realização das etapas finais da pesquisa.

Aos meus colegas de trabalho do IFES *Campus* São Mateus, especialmente ao coordenador da Coordenadoria de Professores de Formação Geral (CPFG), Silvio, e às amigas Cláudia, Adriana e Ires, que sempre me apoiaram e torceram por mim, dividindo preocupações, responsabilidades, alegrias e tristezas.

À minha mãe Cleonice, pessoa que mais admiro no mundo, pelo exemplo de luta, sabedoria e determinação, por todos os ensinamentos e por me dar a oportunidade de estudar e me profissionalizar.

Ao meu pai Ilson por estar sempre ao meu lado, me apoiando e vibrando comigo em cada etapa vencida.

Aos meus familiares, em especial às minhas tias Céia, Léia, Dulcileia e Safia, por todo carinho, confiança e crédito depositados em mim.

À Deus, que sempre me guiou e me iluminou nesta caminhada, dando-me força para lutar pelos meus ideais e chegar até aqui.

Finalmente, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a concretização desse sonho e sempre torceram por mim.

Muito obrigado!

“Não deixe que a saudade sufoque, que a rotina acomode, que o medo impeça de tentar. Desconfie do destino e acredite em você. Gaste mais horas realizando que sonhando, fazendo que planejando, vivendo que esperando, porque embora quem quase morre esteja vivo, quem quase vive já morreu.”

(Luis Fernando Verissimo)

RESUMO

Este estudo visou avaliar as respostas da comunidade de algas perifíticas sob diferentes intensidades de luz no decorrer da sucessão em uma lagoa artificial tropical rasa (lagoa da UFES, Vitória). Uma estrutura experimental, contendo lâminas de vidro como substrato, foi implantada na região limnética da lagoa, onde três tratamentos foram estabelecidos: 100% da radiação incidente; 30% de sombreamento e 50% de sombreamento. Foram realizadas sete amostragens, com intervalos de dois a sete dias, durante 29 dias de colonização. Determinaram-se: temperatura (ar/água), sólidos totais suspensos, turbidez, pH, alcalinidade, profundidade, transparência, zona eufótica, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, salinidade, clorofila *a* da água, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, ortofosfato, fósforo total e ortossilicato. Os dados climatológicos (pluviosidade, temperatura do ar, radiação solar e velocidade do vento) foram obtidos na estação meteorológica do Incaper. *In situ* também foi determinada a porcentagem da radiação incidente na subsuperfície d'água para cada tratamento. Avaliaram-se os seguintes atributos da comunidade: riqueza de táxons, densidade, abundância, dominância, diversidade específica, equitabilidade, massa seca, massa seca livre de cinzas, cinzas, concentração das clorofilas *a*, *b*, carotenóides, feopigmentos e razão clorofila *a*:feopigmentos. Com base na biomassa perifítica, foram aplicados os índices de Lakatos e o índice autotrófico. Foram registrados 54 táxons de algas com predomínio qualitativo de clorófitas, cianobactérias e diatomáceas. O padrão de sucessão da comunidade quanto à riqueza, densidade e biomassa foi semelhante entre os tratamentos, sendo determinado, principalmente, pelos processos autogênicos. Entretanto, maiores índices pluviométricos e concentrações de nutrientes favoreceram o aumento de biomassa e densidade nos estágios finais, quando as diferenças entre os tratamentos foram mais evidentes. A riqueza e a densidade total foram menores sob baixas intensidades luminosas. Por outro lado a diversidade e equitabilidade não apresentaram respostas sensíveis. As clorófitas apresentaram maior contribuição nos estágios iniciais de sucessão, sendo substituídas pelas diatomáceas nas fases intermediárias e pelas cianobactérias nos estágios finais. Apesar da semelhança no padrão sucessional entre tratamentos, clorófitas (representadas principalmente por *Tetraedron minimum*) e diatomáceas (representadas principalmente por *Nitzschia palea*) apresentaram nítida redução na densidade sob menores intensidades luminosas. Em nível de Classe, as cianobactérias não apresentaram preferência diante das diferentes condições de luz. Porém, em nível específico, *Merismopedia insignis* e *Heteroleibleinia* sp. se desenvolveram melhor sob menores intensidades luminosas. As concentrações de pigmentos fotossintetizantes apresentaram respostas sensíveis, aumentando com o maior sombreamento imposto pelos tratamentos (fotoaclimatação). A massa seca, as cinzas e os índices biológicos não variaram significativamente entre tratamentos. Exceção fez-se ao índice autotrófico e ao de Lakatos baseado em clorofila *a*, que foram sensíveis nas fases finais da sucessão. A massa seca livre de cinzas, assim como a densidade, respondeu de forma inversa aos pigmentos, indicando redução na produção de biomassa sob condições de maior sombreamento. Os resultados evidenciaram que o perifíton da lagoa da UFES apresenta respostas sensíveis às diferentes intensidades de luz, contribuindo para o conhecimento da função desta variável como fator controlador da comunidade em sistemas lênticos tropicais.

Palavras-chave: Algas perifíticas. Lagoa da UFES. Luz. Sucessão.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the responses of periphytic algae community under different light intensities during the succession in a shallow tropical lagoon (UFES lagoon, Vitória). An experimental structure containing glass slides as substrate was implanted in the limnetic zone of the lagoon, where three treatments were established: 100% of incident radiation; 30% shading and 50% shading. Seven samplings were conducted with intervals of two to seven days, during 29 days of colonization. It was determined: temperature (air / water), total suspended solids, turbidity, pH, alkalinity, depth, transparency, euphotic zone, dissolved oxygen, conductivity, salinity, chlorophyll *a* of water, ammoniacal nitrogen, nitrite, nitrate, orthophosphate, total phosphorus and orthosilicate. The climatological data (precipitation, air temperature, solar radiation and wind velocity) had been obtained from the Incaper meteorological station. *In situ* it was also determined the percentage of incident radiation on subsurface of water for each treatment. It evaluated the following attributes of the community: taxa richness, density, abundance, dominance, diversity, evenness, dry mass, ash free dry mass, ashes, concentration of chlorophyll *a*, *b*, carotenoids, phaeopigments and chlorophyll *a*:phaeopigments reason. Based on periphytic biomass, it was applied the Lakatos index and the autotrophic index. It was recorded 54 taxa of algae with qualitative predominance of chlorophytes, cyanobacteria and diatoms. The pattern of succession of the community regarding richness, density and biomass was similar between treatments, being determined principally by autogenic processes. However, higher rainfall and nutrient concentrations favored the increase of biomass and density in the final stages, when the differences between treatments were evident. The richness and total density were lower under low light intensities. On the other hand the diversity and evenness did not show sensitive responses. The green algae showed greater contribution in the early stages of succession, being replaced by diatoms in the intermediate stages and by cyanobacteria in the final stages. Despite the similarity in the pattern of succession between treatments, chlorophytes (mainly represented by *Tetraedron minimum*) and diatoms (mainly represented by *Nitzschia palea*) showed a marked reduction in density under lower light intensities. At the level of Class, cyanobacteria showed no preference in the face of different light conditions. However, at species level, *Merismopedia insignis* and *Heteroleibleinia* sp. grew better under lower light intensities. The concentrations of photosynthetic pigments showed sensitive responses, increasing with greater shading imposed by the treatments (photoacclimation). Dry mass, ashes and biological indices did not differ significantly between treatments. Exception made to the autotrophic index and the Lakatos index based on chlorophyll *a*, which were sensitive in the final stages of succession. The ash free dry mass, as well as density, responded inversely to the photosynthetic pigments, indicating a reduction in biomass production under increased shading. The results showed that the periphyton of UFES lagoon presents sensitive responses to different light intensities, contributing to the knowledge of the function of this variable as a factor controller of the community in tropical lentic systems.

Keywords: Periphytic algae. UFES lagoon. Light. Succession.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 HIPÓTESES	24
3 OBJETIVOS	25
3.1 Objetivo geral.....	25
3.2 Objetivos específicos.....	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 Área de estudo.....	26
4.2 Estrutura e delineamento experimental.....	30
4.3 Substrato artificial.....	33
4.4 Estação amostral e periodicidade das coletas.....	34
4.5 Variáveis climatológicas.....	35
4.6 Atenuação da luz nos tratamentos.....	35
4.7 Variáveis limnológicas.....	36
4.7.1 Variáveis limnológicas determinadas em campo.....	36
4.7.2 Variáveis limnológicas determinadas em laboratório.....	36
4.8 Variáveis biológicas.....	37
4.8.1 Amostragem da comunidade de algas perifíticas.....	37
4.8.2 Análise qualitativa.....	38
4.8.3 Análise quantitativa.....	39
4.8.4 Índices de diversidade (H') e equitabilidade (J').....	39
4.8.5 Massa seca, massa seca livre de cinzas e cinzas.....	40
4.8.6 Quantificação dos pigmentos.....	41
4.8.7 Taxa de acumulação de biomassa.....	42
4.8.8 Índice Autotrófico (IA).....	42
4.8.9 Índices de Lakatos.....	42
4.9 Tratamento e análises estatísticas.....	43
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
6 RESULTADOS	57
ARTIGO 1: Sucessão da comunidade de algas perifíticas sob diferentes intensidades de luz em uma lagoa artificial tropical (Espírito Santo, Brasil)	58
RESUMO.....	59
INTRODUÇÃO.....	60
ÁREA DE ESTUDO.....	62

MÉTODOS.....	62
Estação amostral e delineamento experimental.....	62
Amostragem e análises dos dados.....	63
Análises estatísticas.....	64
RESULTADOS.....	65
Variáveis climatológicas e limnológicas abióticas.....	65
Intensidades luminosas nos tratamentos.....	66
Estrutura e dinâmica sucessional da comunidade de algas perifíticas.....	66
DISCUSSÃO.....	69
AGRADECIMENTOS.....	76
LITERATURA CITADA.....	77
TABELAS.....	83
FIGURAS.....	86
ARTIGO 2: Efeitos de diferentes níveis de sombreamento sobre a biomassa perifítica ao longo do processo sucessional em uma lagoa artificial tropical (Espírito Santo, Brasil).....	94
RESUMO.....	94
INTRODUÇÃO.....	95
MATERIAL E MÉTODOS.....	96
Área de estudo.....	96
Estação amostral e delineamento experimental.....	97
Amostragem e análises dos dados.....	97
Análises estatísticas.....	98
RESULTADOS.....	98
Variáveis abióticas.....	98
Variáveis bióticas.....	99
DISCUSSÃO.....	101
CONCLUSÃO.....	105
AGRADECIMENTOS.....	105
REFERÊNCIAS.....	105
TABELAS.....	110
FIGURAS.....	115
7 CONCLUSÕES GERAIS.....	122
8 ANEXOS.....	124

1 INTRODUÇÃO GERAL

Lagoas costeiras são corpos d'água, usualmente orientados paralelos à costa, com pequena profundidade e separados do mar por uma barra ou conectados ao oceano por um ou mais canais (KJERFVE, 1994). Em área, representam 13% dos ambientes continentais do mundo, sendo que a América do Sul apresenta 12,2% de sua costa formada por esses ecossistemas, contando com 10,3% das lagoas costeiras do mundo (BARNES, 1980). No litoral brasileiro, são muito abundantes e variam desde pequenas depressões, preenchidas com água da chuva e/ou do mar, de caráter temporário, até corpos d'água de grandes extensões como a lagoa dos Patos no Rio Grande do Sul (ESTEVEES, 1998b).

De forma geral, as lagoas costeiras foram formadas como um resultado da variação do nível do mar a partir do Pleistoceno, prolongando-se até os últimos dois mil anos do Holoceno, quando ocorreu a gênese da grande maioria das lagoas costeiras do Brasil, notadamente das lagoas costeiras do sul da Bahia, do Espírito Santo e do Rio Grande do Sul (ESTEVEES, 1998b).

As lagoas costeiras atuam como filtros, retendo matéria orgânica e inorgânica oriunda do continente e, por isso, apresentam elevadas taxas de produtividade primária e secundária (ESTEVEES; ROLAND; BOZELLI, 1990). Por isso, são consideradas um dos ecossistemas mais produtivos do mundo (KNOPPERS, 1994). Diferenças quanto ao grau de influência marinha, morfometria e extensão conferem a esses ambientes características peculiares, principalmente no que se refere às variáveis ambientais e às comunidades que as habitam (ESTEVEES; ROLAND; BOZELLI, 1990).

Do ponto de vista ecológico, as lagoas costeiras apresentam grande relevância por constituírem interfaces entre zonas costeiras, águas interiores e águas costeiras marinhas, e são consideradas importantes depositários da biodiversidade aquática e terrestre (ESTEVEES, 1998a). Além disso, contribuem diretamente para a manutenção do lençol freático e para a estabilidade climática local e regional (ESTEVEES, op. cit.).

Segundo Lassere (1979), as áreas de entorno das lagoas costeiras constituíram-se nos primeiros locais de ocupação humana e continuam atualmente como importantes centros de desenvolvimento econômico, social e cultural, sendo utilizados de diversas formas pelo homem, como pesca e aqüicultura, lazer e recreação, harmonia paisagística, abastecimento doméstico, irrigação, navegação, receptor de efluentes domésticos e industriais e turismo (FERNANDES, 1997; ESTEVES, 1998a; SOUZA, 2008), o que contribui para a valorização da região.

Apesar da reconhecida importância, nas últimas décadas, as lagoas costeiras vêm sofrendo profundas alterações nas suas condições naturais como resultado de diversas atividades antrópicas. Como formas de degradação desses ecossistemas destacam-se o desmatamento da vegetação do entorno, a ocupação desordenada das margens e de sua bacia de drenagem, a retirada de sedimentos, o lançamento de efluentes domésticos e industriais, o assoreamento, a introdução de espécies exóticas e aberturas artificiais de barras que separam estes ecossistemas do mar (ESTEVES; ROLAND; BOZELLI, 1990; ESTEVES, 1998a; SOUZA 2008). Um efeito bem documentado, que reflete a ação antrópica sobre esses ambientes, é a eutrofização artificial (KJERFVE, 1994; LACERDA, 1994; ESTEVES, op. cit.), que compromete a qualidade da água para usos múltiplos.

Nas lagoas costeiras, a zona fótica freqüentemente atinge ou se aproxima do sedimento, aumentando a probabilidade dos substratos submersos serem colonizados pelo perifíton (FERNANDES, 1997; FERNANDES; ESTEVES, 2003). Por serem rasos, estes ecossistemas favorecem o desenvolvimento de extensa região litorânea, constituída por inúmeras espécies de macrófitas aquáticas, as quais são freqüentemente colonizadas pela microflora séssil (FERNANDES, 1998), contribuindo significativamente para a produção total do sistema.

A comunidade de organismos aderidos ou associados a um substrato é bastante heterogênea e sua terminologia tem sido muito variada no decorrer do tempo. Wetzel (1983) consagrou o conceito de “perifíton”, definindo-o como uma complexa comunidade de microorganismos (bactérias, fungos, algas, protozoários, microcrustáceos), detritos orgânicos e inorgânicos que estão aderidos ou associados a substratos artificiais ou naturais, vivos ou mortos. Constitui uma fina camada

(biofilme) normalmente observada como manchas verdes ou pardas recobrimdo objetos submersos na água, como rochas, troncos, carapaças de animais, objetos inertes e vegetação aquática (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003).

Segundo Sládeckóva (1962), existem dois tipos de organismos que compõem a comunidade perifítica: aqueles que vivem fixos, imóveis, adaptados à vida sésil por meio de rizóides, pedúnculos gelatinosos ou discos basais, constituindo o *euperifíton* (perifíton verdadeiro), e aqueles organismos móveis, livres, que vivem agregados sem fixar-se ao substrato, compondo o *pseudoperifíton*. Schwarzbald (1992) afirma que, freqüentemente, organismos livres de origem pelágica também ocorrem no perifíton e, como potencialmente participam dos processos metabólicos, são considerados no estudo desta comunidade. Além disso, segundo este mesmo autor, como a região litorânea é bastante heterogênea, cria muitos microhabitats, dificultando amostragens representativas, o que praticamente impossibilita separar o *euperifíton* do *pseudoperifíton*.

As algas são os componentes mais abundantes da comunidade perifítica, constituindo cerca de 90% desta comunidade na maior parte dos ecossistemas aquáticos continentais (WETZEL, 1990). Desta forma, são importantes produtores primários, principalmente em ambientes rasos como as lagoas costeiras, onde podem contribuir com cerca de 70 a 85% da produção primária total (WETZEL, 1990). Assim, constituem uma das principais fontes de matéria orgânica autóctone e, em muitos casos, mais importante que o fitoplâncton, especialmente na zona litorânea (WETZEL, 1989). Mesmo em lagos profundos, pobres em nutrientes e em vegetação macrofítica, as algas perifíticas podem ser responsáveis pela maior parte da produção primária e biomassa na zona litoral (SCHWARZBOLD, 1990). Além de contribuírem para a produção de matéria orgânica em ecossistemas aquáticos, as algas perifíticas contribuem também para a oxigenação do ambiente, tamponando os efeitos redutores do metabolismo saprofítico dos microorganismos (ODUM, 1983).

O perifíton tem sido reconhecido como principal local de deposição de carbono orgânico, tendo importante papel na mineralização de matéria orgânica dissolvida, na ciclagem de nutrientes e no metabolismo do sistema como um todo (WETZEL,

1989; STEVENSON, 1996a; FERNANDES, 1997). Rico em proteínas, vitaminas e minerais, constitui importante alimento para inúmeros organismos, como invertebrados e peixes, atuando como componente-chave nas cadeias tróficas dos ecossistemas aquáticos (MOSCHINI-CARLOS, 1999). Também serve como habitat e abrigo para muitas espécies, importante como estratégia de fuga contra predadores, e pode conferir proteção às macrófitas aquáticas contra a ação direta de herbívoros, visto que formam uma bioderme sobre tais vegetais (PANITZ, 1980). Além disso, as algas perifíticas são capazes de originar formas planctônicas por desprendimento do substrato, as quais podem apresentar um desenvolvimento muito acelerado sob condições favoráveis na coluna d'água (CHAMIXAES, 1991).

A comunidade perifítica também é largamente utilizada como indicadora da qualidade da água e de seu estado trófico, uma vez que é capaz de acumular grandes quantidades de substâncias poluentes (inseticidas, herbicidas, fungicidas), metais pesados e substâncias radioativas, além de serem usadas no pré-tratamento de águas residuais devido à capacidade de remover nutrientes (FERNANDES, 1997). O modo de vida sésil que muitos organismos apresentam, aliado ao curto ciclo de vida e à elevada riqueza de espécies, confere a esta comunidade maior gama de respostas às alterações do meio, constituindo-se uma importante ferramenta em estudos de monitoramentos ambientais (WATANABE, 1985; LOWE; PAN, 1996; FERRAGUT, 1999; MARTINS, 2006; FERRAGUT; BICUDO, 2009).

Para o estudo da comunidade perifítica podem ser utilizados diferentes tipos de substratos artificiais ou naturais, sendo estes vivos ou mortos. A utilização de substratos artificiais permite o entendimento de determinados aspectos estruturais e funcionais da comunidade e apresenta inúmeras vantagens como: superfície uniforme; facilidade de remoção do material aderido e determinação da área colonizada; programação do tempo de exposição do substrato para a realização de estudos de sucessão e eliminação da interferência dos processos de fotossíntese, respiração e excreção das plantas hospedeiras (PANITZ, 1980; WETZEL, 1983; SCHWARZBOLD, 1990; FERNANDES, 2005). No entanto, estudos comparativos têm demonstrado que o perifíton que se desenvolve sobre substrato artificial é significativamente diferente daquele que se desenvolve sobre substrato natural (MOSCHINI-CARLOS, 1999). Segundo Martins (2006), os substratos naturais

refletem as reais condições do ambiente por fazerem parte da ecologia da paisagem do mesmo. Ferragut (1999) salienta que a extrema heterogeneidade de distribuição do perifíton e sua interação com os substratos naturais, aliados à necessidade de padronizar o tempo de desenvolvimento da comunidade e a natureza do substrato, têm incentivado o uso de substratos artificiais. Assim, a escolha do tipo de substrato varia de acordo com os objetivos da pesquisa.

O processo de mudança da estrutura da comunidade perifítica ao longo do tempo é denominado sucessão e, segundo Odum (1983), resulta da modificação do ambiente físico pela própria comunidade e de interações de competição e coexistência entre as populações, embora os fatores abióticos possam determinar o padrão e a velocidade com que a sucessão ocorra. Segundo Fernandes (1997), há muitas discussões a respeito do processo sucessional na comunidade perifítica ser ou não similar àquele que ocorre nas comunidades terrestres. Porém, de modo geral, diferentes estudos têm registrado a formação inicial de uma camada orgânica, seguida da instalação de bactérias, protozoários, algas unicelulares simples, diatomáceas mais complexas (formando rosetas ou possuindo longos pedúnculos) e, finalmente, algas verdes filamentosas (FERNANDES, 1993; SCHWARZBOLD, 1992; MOSCHINI-CARLOS, 1996). Durante o crescimento das algas perifíticas ocorre simultaneamente, o aumento do número de espécies, devido à reprodução e imigração, e a diminuição, em função de processos como mortalidade, emigração e herbívora (ÁCS; KISS, 1993). Teoricamente, podem ser descritas três fases durante o processo de colonização do perifíton: (1) a fase inicial, caracterizada por um rápido crescimento (exponencial ou linear) da comunidade, refletindo em aumento da biomassa; (2) a fase estacionária, em que a bioderme atinge um nível de estabilização da biomassa e (3) a fase secundária, onde a biomassa flutua amplamente (SAND-JENSEN, 1983). Segundo Stevenson (1996a), através do estudo da dinâmica sucessional é possível conhecer o pico de biomassa, o tempo decorrente para que este aconteça e as alterações na composição taxonômica, as quais dependem das estratégias adaptativas de cada espécie.

Sekar et al (2004) afirmam que a maioria dos estudos que tratam da colonização de microalgas em substratos artificiais em ambientes de água doce têm sido focados principalmente nas diatomáceas (HOAGLAND et al, 1982; KORT; BLINN, 1983;

ROEMER et al, 1984). Estudos de abrangência a todos os grupos taxonômicos de algas são ainda limitados. Além disso, os estudos de sucessão têm sido realizados em sistemas lóticos, onde o movimento da água é suscetível de influenciar a colonização (SEKAR et al, 2004).

No Brasil, as investigações sobre colonização e sucessão da comunidade de algas perifíticas em substratos artificiais intensificaram-se no final da década de 70 e, principalmente, a partir dos anos 90 (SIQUEIRA, 2008). A maioria dos trabalhos relatados foi desenvolvida em reservatórios (ROCHA, 1979; PANITZ, 1980; GODINHO-ORLANDI; BARBIERI, 1983; CERRÃO et al, 1990; TEDESCO 1995; MOSCHINI-CARLOS, 1996; MOURA, 1997; FERRAGUT, 1999, 2004; ALMEIDA, 2001; VERCELINO, 2001, 2007; FELISBERTO, 2007; dentre outros). Em lagoas costeiras, destacam-se as contribuições de Fernandes (1993) sobre as variáveis ambientais e mudanças na estrutura e dinâmica da comunidade perifítica em *Typha domingensis* Pears na lagoa de Jacarepaguá (RJ) e a de Fernandes (1997) sobre a variação temporal da estrutura e dinâmica da comunidade perifítica em substrato natural e artificial na lagoa Imboassica, Macaé (RJ).

A estrutura da comunidade de algas perifíticas é descrita pela composição, riqueza, frequência de ocorrência, densidade e diversidade das espécies, além da fisionomia, que compreende o arranjo espacial dos componentes do biofilme (WETZEL, 1983; STEVENSON, 1996a; MOSCHINI-CARLOS, 1999). Nos ecossistemas aquáticos continentais, as algas perifíticas apresentam dinâmica espacial e temporal que varia de acordo com as condições climáticas, físicas e químicas da água e com as características biológicas específicas (MOSCHINI-CARLOS, 1996). Dentre as variáveis que podem interferir na biomassa e na composição da comunidade de algas perifíticas, destacam-se: luz, nutrientes, temperatura, natureza e qualidade do substrato, turbulência, herbivoria e competição intra e interespecífica (LOWE, 1996; WETZEL, 2001; FERNANDES, 2005; RODRIGUES et al., 2005). Segundo Lowe (1996), em virtude da atuação conjunta de importantes variáveis, os mecanismos que regulam a estrutura da comunidade perifítica têm sido pouco estudados. Ross (1983) e Müller (1994) consideram como principal problema para o estudo da estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas, a dificuldade de discriminar a influência de cada uma das variáveis abióticas e bióticas em relação ao perifíton.

Portanto, são necessários estudos experimentais para determinar e quantificar os fatores ambientais controladores da dinâmica dessa comunidade (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003).

A luz é imprescindível para a ocorrência dos processos fotossintéticos em organismos autotróficos e, dessa forma, tem sido descrita como um dos principais fatores determinantes da estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas no que diz respeito à biomassa (STEINMAN; MCINTIRE, 1987; STEINMAN et al., 1989; ROBERTS; SABATER; BEARDALL., 2004; RIER; STEVENSON; LALIBERTE., 2006), produtividade (BOTT et al., 1985; KING; CUMMINS, 1989, ROBERTS; SABATER; BEARDALL., 2004; RIER; STEVENSON; LALIBERTE., 2006), e composição taxonômica (LYFORD; GREGORY, 1975, SHORTREED; STOCKNER, 1983; STEINMAN; MCINTIRE, 1987, ROBERTS; SABATER; BEARDALL., 2004; SULTANA et al, 2004).

Considerando os processos da fotossíntese, a luz participa de dois conjuntos de reações: as do Fotossistema I, onde está associada com a redução de NAD à NADPH, e as do Fotossistema II, onde é responsável pela quebra da molécula de água. Cada fotossistema consiste de um centro de reação, onde uma molécula de clorofila *a* media a transferência de elétrons e um conjunto de moléculas, que funcionam como antenas, absorvem e canalizam a energia luminosa para os centros de reação. O sistema antena é constituído, em grande parte, por moléculas de clorofila *a* ou uma variedade de pigmentos acessórios como as clorofilas *b* e *c*, carotenóides, ficocianinas e ficoeritrinas, dependendo do táxon de alga (HILL, 1996). Segundo este autor, diferenças nas respostas sobre o efeito da luz para a maioria dos grandes grupos algais têm sido sugeridas devido a estes terem, em parte, diferenças justamente na composição qualitativa e quantitativa dos pigmentos fotossintetizantes. A luz, dessa forma, é um fator primário na fotossíntese e sua alta ou baixa disponibilidade poderá contribuir para a seleção de diferentes táxons que se tornarão abundantes numa comunidade (VERMAAT, 2005).

Em ecossistemas lênticos, a entrada de luz no sistema é atenuada pela vegetação adjacente e pelas partes emersas de macrófitas aquáticas, resultando em diferentes níveis de sombreamento, principalmente na região litorânea. Ao penetrar na coluna

d'água, a radiação é submetida a profundas alterações, tanto na sua intensidade quanto na qualidade espectral, as quais dependem de vários fatores, destacando-se a concentração de material dissolvido e a concentração de material em suspensão, incluindo o fitoplâncton (HILL, 1996, LOWE, 1996; ESTEVES, 1998b). Segundo Goldsborough e Robinson (1996), numerosos estudos em ambientes aquáticos rasos têm demonstrado que a ressuspensão do sedimento por ventos aumenta a turbidez, diminuindo significativamente a penetração da irradiância na coluna d'água (KLARER; MILLIE, 1992). Lowe (1996) salienta que, em situações de relativa abundância de nutrientes, a proliferação do fitoplâncton pode sombrear o perifíton e prestá-lo a uma limitação de luz maior do que a de nutrientes (HANSSON, 1992). Além desses fatores, a atenuação da luz é fortemente afetada ao penetrar na própria matriz perifítica devido ao sombreamento causado pelas diferentes camadas do biofilme, refletindo em mudanças na estrutura e dinâmica da comunidade (LOSEE; WETZEL, 1983).

Apesar do importante papel da luz na fotossíntese e no crescimento das algas, esses efeitos sobre a comunidade perifítica permanecem pouco estudados, se comparado ao grande número de publicações sobre os efeitos dos nutrientes (HILL, 1996). De fato, a quantidade de luz influencia profundamente a fotossíntese de modo que a taxa fotossintética pode ser várias vezes maior em ambientes abertos do que em ambientes fechados (HILL; RYON; SCHILLING, 1995). Em riachos, por exemplo, a biomassa algal correlaciona-se com o grau de preservação da vegetação ripária (HILL; HARVEY, 1990). DeNicola e Hoagland (1992) afirmam que as propriedades ópticas da vegetação ripária e da coluna d'água compõem a principal influência na disponibilidade da luz nesses ambientes. Assim, adaptações ao sombreamento devem ser consideradas cruciais para se determinar como as algas de riachos respondem às constantes mudanças do regime de luz, tanto no espaço quanto no tempo (HILL; MULHOLLAND; MARZOLF, 2001). Experimentos *in situ* podem ajudar a distinguir os efeitos da luz sobre parâmetros ecológicos importantes como biomassa, produtividade e composição da comunidade (HILL, 1996). Porém muito pouco tem sido feito.

Alguns estudos têm procurado investigar as respostas da comunidade algal quando submetida a diferentes condições de luminosidade (HILL; RYON; SCHILLING, 1995;

ROBERTS; SABATER; BEARDALL, 2004; RIER; STEVENSON; LALIBERTE, 2006). Entretanto, a grande maioria desses trabalhos tem sido conduzida em sistemas lóticos (HILL; RYON; SCHILLING, 1995; ROBERTS; SABATER; BEARDALL, 2004; RIER; STEVENSON; LALIBERTE, 2006). Em ambientes lênticos, investigações têm demonstrado a luz como uma importante variável afetando a composição da comunidade perifítica através de gradientes de profundidade (HUDON; BOURGET, 1983; HOAGLAND; PETERSON, 1990; BORDUQUI; FERRAGUT; BICUDO, 2008). Porém, *in situ*, curvas de luz e temperatura mostram forte colinearidade ao longo da coluna d'água, dificultando a compreensão dos efeitos isolados de uma ou outra variável. Lowe (1996) salienta que experimentos *in situ* em que a luz foi quantitativamente manipulada em habitats lênticos, mantendo as outras variáveis constantes, são raros (HUDON; BOURGET, 1983; MARKS; LOWE, 1993; van DIJK, 1993).

Com relação aos estudos com a comunidade perifítica, Huszar et al. (2005) afirmam que, apesar do crescente interesse sobre perifíton, ainda há uma grande escassez de informações sobre esta comunidade, tanto em escala mundial, quanto no Brasil, onde há reduzido número de publicações (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003), principalmente se comparado às pesquisas com fitoplâncton. Dentre os trabalhos já desenvolvidos, poucos são os estudos *in situ* que manipulam alguma variável ambiental específica, sendo a maioria destes realizada com manipulação de nutrientes (SUZUKI, 1991; ENGLE; MELACK, 1993; CERRÃO et al, 1991; FERRAGUT, 1999; MENDES; BARBOSA, 2002; BARCELOS, 2003; FERMINO, 2006; VERCELINO, 2007). Estudos *in situ* que investigam a influência de outros fatores controladores da comunidade são ainda mais escassos, com destaque para a pesquisa de Murakami e Rodrigues (2009) que avaliou a resposta das algas perifíticas às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes em curto período de tempo na planície de inundação do alto rio Paraná. Considerando-se também a comunidade de macroalgas bentônicas, apenas o trabalho de Tonetto (2010) apresentou uma abordagem semelhante às pesquisas anteriormente citadas. Neste, o autor avaliou os efeitos da irradiância e da composição espectral da luz sobre o estabelecimento e desenvolvimento de comunidades de macroalgas lóticas sobre substratos artificiais em riachos da Bacia do Rio das Pedras na região Centro-Sul do estado do Paraná. Entretanto,

experimentos com manipulação da radiação luminosa abordando a comunidade de algas perifíticas *in situ* ainda são raros no país. Dessa forma, são necessários mais estudos com este enfoque para ampliar o conhecimento e, conseqüentemente, melhorar a compreensão sobre o comportamento ecológico da comunidade de algas perifíticas diante das variáveis ambientais, sejam elas físicas, químicas ou temporais.

O Estado do Espírito Santo é rico em ecossistemas aquáticos, possuindo rios de grande importância e um elevado número de lagoas costeiras ao longo de seu litoral (CAVATI, 2008). Apesar disso, pouco se conhece sobre a estrutura e dinâmica da comunidade perifítica nestes ambientes. Até o momento, foram realizadas as pesquisas de Martins (2002), que comparou as comunidades fitoplanctônica e perifítica na lagoa da UFES (Vitória); Semionato (2002), que avaliou a variação temporal do perifíton em substrato artificial no mesmo ambiente; Cetrangolo (2004), que avaliou a variação temporal da comunidade perifítica em substrato natural no Reservatório Duas Bocas (Cariacica); Sartori (2005), sobre a variação temporal da comunidade perifítica em substrato artificial no ponto de captação de água para abastecimento do mesmo reservatório; Martins (2006), que avaliou as respostas ecofisiológicas da comunidade perifítica *in situ* no alto curso do rio Santa Maria da Vitória (Santa Maria de Jetibá); Cavati (2006), a respeito da variação espacial e temporal da comunidade de algas perifíticas em substrato natural em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno, Linhares); Cavati (2008) sobre a estrutura e dinâmica da comunidade de algas epilíticas em diferentes escalas temporais em um reservatório tropical raso (lagoa de Captação, Vitória); Costa (2010), que avaliou a estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas na lagoa Mãe-Bá (Guarapari-Anchieta); Zorzal (2010), sobre a influência da herbivoria sobre a estrutura e dinâmica da comunidade perifítica em tanques de piscicultura (Viana) e Gonçalves (2010), que avaliou a seletividade das algas perifíticas a diferentes substratos artificiais em escala temporal em uma lagoa artificial eutrofizada (lagoa de Captação, Vitória). Dentre os trabalhos publicados com esta comunidade para o estado, destacam-se: Martins e Fernandes (2007), sobre a estrutura da comunidade perifítica em substrato natural na lagoa da UFES (Vitória); Cavati e Fernandes (2008), sobre a variação espacial e temporal da comunidade de algas perifíticas em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio

Pequeno, Linhares); e Fernandes et al. (2009), sobre o potencial de floração de cianobactérias na lagoa Mãe-Bá.

Atualmente, no Espírito Santo, vem sendo desenvolvidas outras quatro pesquisas com esta comunidade: a de Lessa, que vem avaliando a qualidade ecológica de tanques de piscicultura com base na ecologia das algas perifíticas e variáveis ambientais na região de Viana; a de Caretta, que está avaliando a variação temporal em curto prazo da comunidade de algas perifíticas em substrato natural na lagoa da UFES (Vitória); a de Zorzal, a respeito da ecologia de algas perifíticas em uma lagoa costeira com múltiplos usos (lagoa Juara, Serra) e a de Pereira, sobre a variabilidade espacial da comunidade de algas perifíticas no rio São Mateus (São Mateus).

O presente estudo é o primeiro realizado com manipulação de luz *in situ* para a comunidade de algas perifíticas em lagoa costeira no Brasil, constituindo, portanto, caráter pioneiro. Reveste-se de fundamental importância, pois visa analisar a estrutura e dinâmica da comunidade durante o processo de colonização e sucessão na lagoa da UFES sob diferentes intensidades de irradiância, contribuindo para o entendimento da função da luz como fator controlador do crescimento das algas e subsidiando futuras aplicações a respeito de seu papel no funcionamento dos ecossistemas aquáticos.

2 HIPÓTESES

- A comunidade de algas perifíticas apresenta diferenças em sua estrutura no decorrer do processo de sucessão sob diferentes intensidades de luz, sendo que a atenuação da intensidade luminosa diminui a riqueza de espécies, a densidade, a biomassa e a taxa de crescimento da comunidade, além de alterar sua composição taxonômica;
- Há variação temporal em curto prazo na estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas, explicada principalmente pelos processos autogênicos que ocorrem ao longo da colonização e sucessão.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar as respostas estruturais da comunidade de algas perifíticas *in situ* no decorrer da sucessão sob diferentes intensidades de luz em uma lagoa artificial tropical rasa no estado do Espírito Santo (lagoa da UFES, Vitória).

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar os efeitos de diferentes níveis de intensidade luminosa sobre a estrutura e dinâmica sucessional da comunidade de algas perifíticas a curto prazo (dias) em uma estação amostral na lagoa da UFES, por meio dos seguintes atributos: composição taxonômica, riqueza, densidade, abundância, dominância, biomassa, pigmentos fotossintetizantes, diversidade e equitabilidade;
- Caracterizar a estação amostral quanto às principais variáveis ambientais (limnológicas e climatológicas) e caracterizar os tratamentos de atenuação da luz quanto às intensidades de radiação no decorrer do período estudado;
- Relacionar as mudanças na estrutura e dinâmica sucessional da comunidade de algas perifíticas às variáveis ambientais (limnológicas e climatológicas), aos efeitos das diferentes intensidades de luz entre os tratamentos, bem como aos processos autogênicos que ocorrem ao longo da sucessão;
- Identificar atributos da comunidade sensíveis às condições de atenuação da luz que possam auxiliar o estudo e manejo de ecossistemas aquáticos tropicais lênticos com proliferação de algas perifíticas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A lagoa da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) está localizada no *Campus* Universitário Almor de Queiroz, Vitória, na região costeira sul do Estado do Espírito Santo ($20^{\circ} 16' 41''$ S e $40^{\circ} 18' 10''$ W) (Figuras 1 e 2).

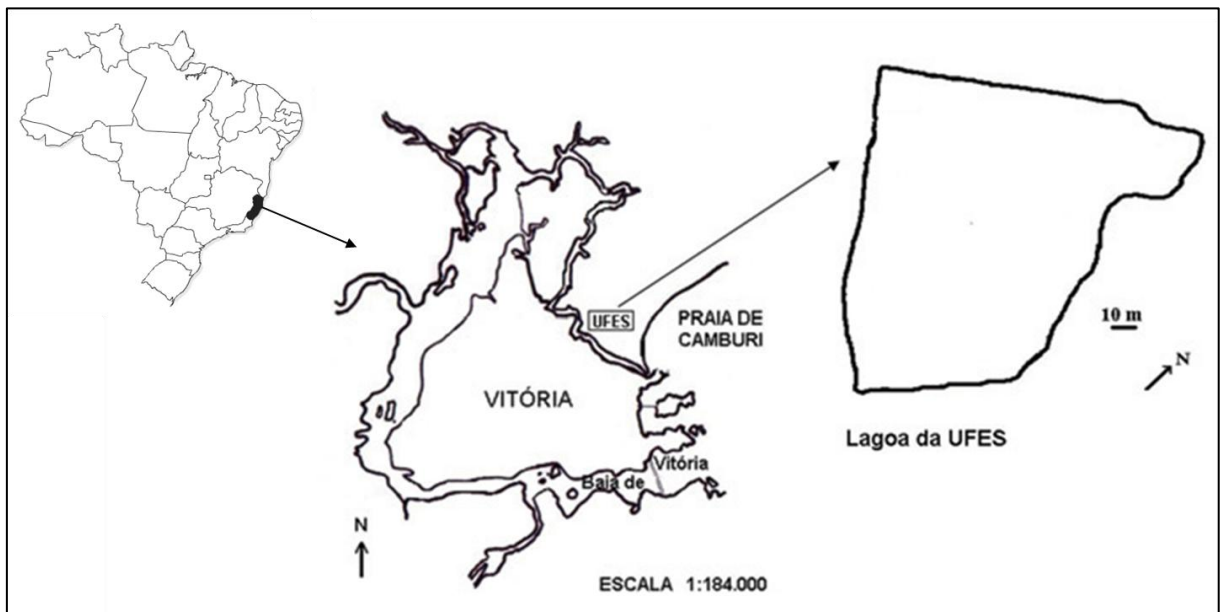


Figura 1. Mapa de localização da lagoa da UFES, Vitória, Espírito Santo, Brasil (modificado de MARTINS; FERNANDES, 2007).

O clima predominante no Espírito Santo é o tropical úmido, com média anual da temperatura de 23° C e da precipitação de 1.400 mm. Em Vitória, onde se situa a lagoa da UFES, a temperatura média mensal máxima e mínima é de $30,4^{\circ}$ C e 24° C, respectivamente (MARTINS; FERNANDES, 2006). A região apresenta pequena redução da pluviosidade nos meses de maio, junho, julho e agosto com ausência de estação fria propriamente dita. Os ventos de maior frequência e intensidade são provenientes do quadrante nordeste, seguindo-se dos que sopram de sudoeste, de norte e de leste (COSTA, 1992). Sua geomorfologia é caracterizada por planícies costeiras de idade quaternária de sedimentos marinhos e de transição (manguezal). Os sedimentos marinhos são constituídos por depósitos de areias brancas e de manguezais com argila e silte com restos orgânicos de carapaças de molusco e pedaços de madeiras (MACHADO FILHO et al, 1983). Na região também ocorrem afloramentos rochosos que sobressaem na paisagem, sendo estes compostos de

granito com granulação grosseira, textura porfírica (cristais tabulares maiores e, matriz de granulação mais fina), cor cinza e com idade aproximada de 515 milhões de anos, Paleozóico Inferior (FÉBOLI, 1993).

A lagoa da UFES é um ecossistema artificial, caracterizado por uma bacia pequena, rasa, praticamente sem recortes em seu perímetro e com considerável declividade nas suas margens (Figura 2). Apresenta área total de 1,4 ha, volume total de $1,7 \times 10^6$ m³, perímetro de 521,63 m, baixo índice de desenvolvimento de margem (1,23), comprimento máximo efetivo de 186,6 m, largura máxima efetiva de 144,4 m, profundidade máxima de 1,7 m, profundidade média de 1,20 m e desenvolvimento de volume de 3,33 (PERRONE, 1997). O fundo da lagoa é predominantemente plano, exceto junto às suas margens, ocorrendo apenas um aumento da profundidade do meio da lagoa em direção ao anel viário. No sentido oposto há uma redução gradativa da profundidade. De forma geral, a bacia apresenta configuração em forma de “U”, com sedimento rico em matéria orgânica (PERRONE, 1997).

A origem desse ecossistema está associada a obras de urbanização do próprio *Campus* universitário, para fins de ocupação e de harmonia paisagística (BORGGO, 1995). Em janeiro de 1980, durante as obras de ampliação do *Campus*, foi observada uma lâmina de água salobra por ocasião dos aterros para a construção da Biblioteca Central, Restaurante Universitário e o Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas (CCJE). A extensão alagada, com uma profundidade muito reduzida e formato relativamente arredondado, formou uma lagoa entre as edificações e o anel viário, o qual represava seu escoamento natural, passando este a ser canalizado através de manilhas para o Canal da Passagem. Com o término das obras a lagoa passou a receber efluentes sanitários das próprias edificações do entorno, resultando num processo acelerado de eutrofização com conseqüente formação de grande biomassa de macrófitas aquáticas, principalmente espécies dos gêneros *Typha* e *Lemnea* (PERRONE, 1997). Entre 1993 e 1994, durante a gestão do reitor Roberto Cunha Penedo, a lagoa sofreu intervenções com obras de urbanização relacionadas à drenagem, retirada das macrófitas aquáticas, retificação de seu perímetro, remoção do sedimento e outras obras de engenharia, com o objetivo de diminuir os focos de mosquitos, o mau cheiro e melhorar o aspecto visual, resultando na sua configuração atual (Figura 2). Daí pode-se notar o acaso da

formação deste ambiente, pois no Projeto de Zoneamento do *Campus*, elaborado por Marcelo Vivacqua em 1969, não constava a existência de uma lagoa na universidade (BORGO, 1995).

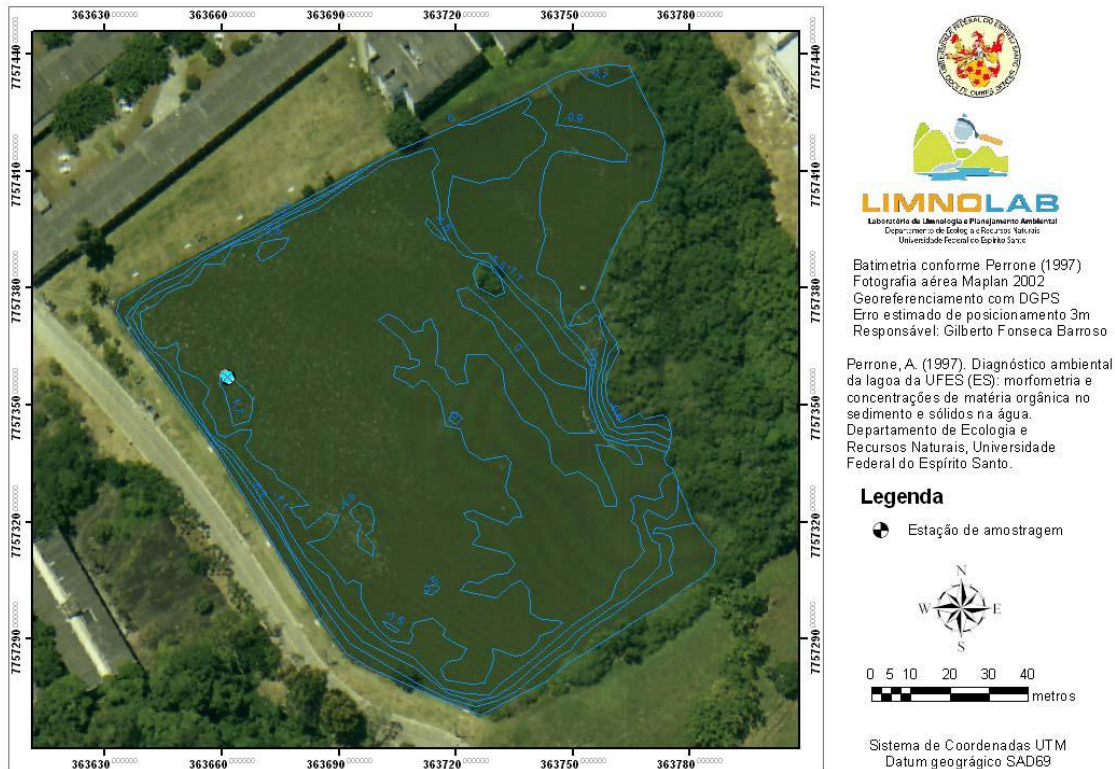


Figura 2. Foto aérea da lagoa da UFES do *Campus* Universitário Alaor de Queiroz, Goiabeiras, Vitória, ES, com a sobreposição da batimetria: isolinhas expressas em centímetros (modificado de PERRONE, 1997) (LIMNOLAB – UFES, 2005).

No final de 1998, um prolongado período de estiagem na região acarretou em uma drástica redução no nível d'água da lagoa. O problema foi, então, resolvido, com o bombeamento de água salobra proveniente do sistema estuarino da Baía de Vitória/Canal da Passagem, localizado a oeste do *Campus* universitário (MARTINS, 2002). Desde então, a manutenção do nível de água da lagoa se dá principalmente pela precipitação pluviométrica e pelo lençol freático, exceto quando há necessidade de reabastecimento devido às estiagens pronunciadas, quando então é novamente bombeada água do sistema estuarino (PEREIRA; FERNANDES, 1999). Em março de 2010, a lagoa foi novamente reabastecida com água do Canal da Passagem devido a um longo período de estiagem entre os meses de novembro de 2009 e fevereiro de 2010.

Além do impacto gerado pelo enchimento da lagoa com água proveniente de um ambiente estuarino, há alguns anos também vem recebendo o lançamento de esgotos domésticos *in natura* em diferentes pontos de sua margem (MARTINS, 2002; VARGAS, 2005), o que tem acarretado modificações de suas condições ambientais, inclusive já tendo sido detectada mortandade de peixes no ano de 1996, segundo Dellazari (dados não publicados), e mais recentemente, em fevereiro de 2010. Nestes dois eventos, supõe-se que as elevadas temperaturas da água durante os meses mais quentes do ano tenham contribuído para a redução do oxigênio dissolvido, acarretando na morte dos peixes. Além disso, tem se observado a formação de densos bancos de *Typha* ao longo das margens da lagoa nos dois últimos anos, permitindo inferir sobre o elevado grau de trofia deste ecossistema. Em maio de 2010, por meio de intervenções da Prefeitura Universitária, as macrófitas aquáticas foram removidas das margens e um aerador foi instalado na parte central da lagoa, a fim de minimizar o processo de anaerobiose neste ambiente.

Atualmente a lagoa da UFES consiste em um importante ambiente ecológico, por constituir habitats para a fauna e a flora aquática, e científico, funcionando como laboratório natural para pesquisas acadêmicas e contribuindo para o aumento do conhecimento sobre os componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas aquáticos. É utilizada para a realização de aulas de campo por diferentes cursos como os de Biologia, Oceanografia, Geografia, Artes plásticas, além de proporcionar à comunidade universitária harmonia paisagística através de sua beleza cênica.

Apesar de sua importância e de estar localizada dentro de um *Campus* universitário, poucos estudos foram realizados neste ambiente até o momento. Dentre eles, pode-se citar o de Perrone (1997), que realizou um diagnóstico ambiental da lagoa, enfatizando sua morfometria e concentrações de matéria orgânica no sedimento e sólidos da água; Pereira e Fernandes (1999), que analisaram a variação temporal do zooplâncton; Batista (2003), sobre a estimativa da produtividade primária fitoplanctônica na lagoa pelo método do oxigênio; Ramos (2004), que avaliou a concentração de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio no sedimento e na coluna d'água da lagoa e sua utilização como indicador da qualidade ambiental; Vargas (2005), sobre a variabilidade diurna do oxigênio dissolvido e suas interações com o ambiente físico-químico; Camargo-Santos (2005), a respeito da distribuição vertical

da comunidade fitoplanctônica na lagoa e Oliveira (2006), que avaliou a estrutura e produtividade primária do fitoplancton. Sobre a comunidade perifítica foram realizados somente dois estudos: o de Martins (2002), que abordou a estrutura das comunidades perifíticas (em substrato natural) e fitoplanctônica na lagoa da UFES e a utilização destas como bioindicadoras da qualidade da água, e o de Semionato (2002), sobre a variação temporal da comunidade perifítica (em substrato artificial) e sua utilização como bioindicador da qualidade da água. Dessa forma, estudos com o objetivo de avaliar a influência de determinados fatores ambientais, como o efeito de diferentes intensidades luminosas, sobre a estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas neste ambiente, são essenciais para esclarecer os mecanismos ecológicos que governam tal comunidade e melhor compreender o seu papel no funcionamento dos ecossistemas aquáticos continentais.

4.2 Estrutura e delineamento experimental

Uma estrutura experimental foi confeccionada e instalada na estação amostral para avaliar o efeito dos diferentes níveis de radiação sobre a comunidade de algas perifíticas (Figuras 3 e 4). Para isso, nove unidades experimentais foram construídas, de modo que cada uma delas foi composta por um suporte de borracha circular de 0,60 m de diâmetro (pneu de moto) previamente perfurado em pontos eqüidistantes ao longo de uma de suas superfícies laterais, onde foram encaixadas 50 lâminas de vidro (7,6 cm x 2,6 cm), em posição vertical (em relação ao maior eixo) na coluna d'água, com espaçamentos de 3,5 cm entre elas (Figura 3). Cada suporte com as lâminas foi submerso a 0,20 m de profundidade e sustentado por flutuadores (garrafas de plástico PET vazias) presos a um aro de polietileno de 1,20 m de diâmetro fabricado com mangueira de fiação (Figura 3). Hastes de alumínio foram utilizadas para prender as unidades experimentais entre si, mantendo-as afastadas umas das outras a uma distância de 1,20 m a partir do limite externo de cada aro de polietileno (Figura 4). Poitas foram utilizadas para ancorar a estrutura no sedimento, sendo amarradas aos aros de polietileno das unidades experimentais localizadas nas extremidades, deixando-se folga de aproximadamente 0,40 m de corda para cada uma, de modo que a estrutura acompanhasse eventuais flutuações do nível d'água da lagoa. As intensidades luminosas para cada tipo de tratamento foram obtidas por meio de telas de polietileno com diferentes níveis de

sombreamento (30% e 50% de atenuação da irradiância), as quais foram instaladas sobre as unidades experimentais, acima da superfície d'água, para que a radiação solar fosse atenuada antes de penetrar na coluna d'água.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, contando com três tratamentos distintos: controle (C), sem utilização de telas de sombreamento, portanto constituindo 100% da radiação incidente; tratamento 30% (T30%), com utilização de telas com atenuação de 30% da radiação incidente; e tratamento 50% (T50%), com utilização de telas com atenuação de 50% da radiação incidente, conforme esquematizado na Figura 4. Cada um dos tratamentos contou com três repetições, totalizando nove unidades experimentais que tiveram suas posições definidas na estação amostral por meio de sorteios realizados previamente à instalação do experimento. As telas de sombreamento utilizadas nos tratamentos 2 e 3 foram da marca *sombrite*[®]. Cada unidade experimental foi identificada por meio de placas contendo o nome do tratamento e o número da repetição correspondente. As lâminas de vidro de cada unidade experimental também foram identificadas por meio de números escritos na base de borracha onde se encontravam fixadas, uma vez que antes de cada coleta, foi realizado um sorteio de quais lâminas seriam coletadas, conforme recomendado por Moschini-Carlos (1996). A estrutura experimental foi mantida ao longo de todo o estudo no mesmo ponto da lagoa e todos os suportes com os substratos foram mantidos sempre na mesma profundidade da coluna d'água (0,20 m), com intuito de manter as condições entre as unidades experimentais o mais próximas possível, variando somente as intensidades luminosas de cada tratamento. As telas de sombreamento das unidades experimentais foram levemente escovadas ao longo do período estudado para eliminar o perifiton que colonizava a superfície das mesmas e evitar, portanto, uma atenuação da luz incidente maior que a desejada. Das 50 lâminas fixadas em cada unidade experimental, foram retiradas somente 35, sendo que o excedente serviu como segurança para possíveis perdas.

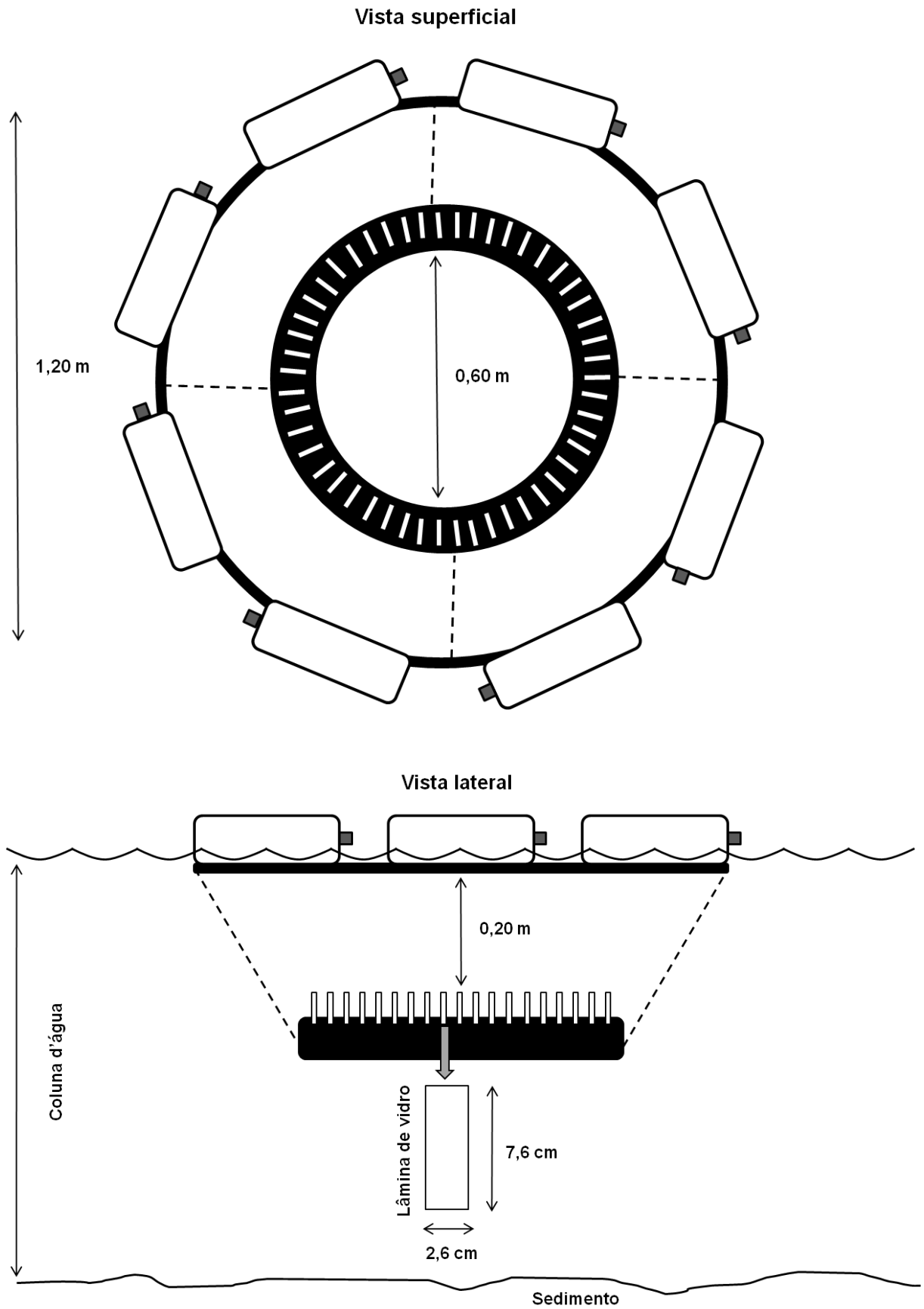


Figura 3. Detalhes de uma unidade experimental montada na estação amostral com o suporte de borracha circular contendo os substratos artificiais (lâminas de vidro) para a colonização da comunidade de algas perifíticas.

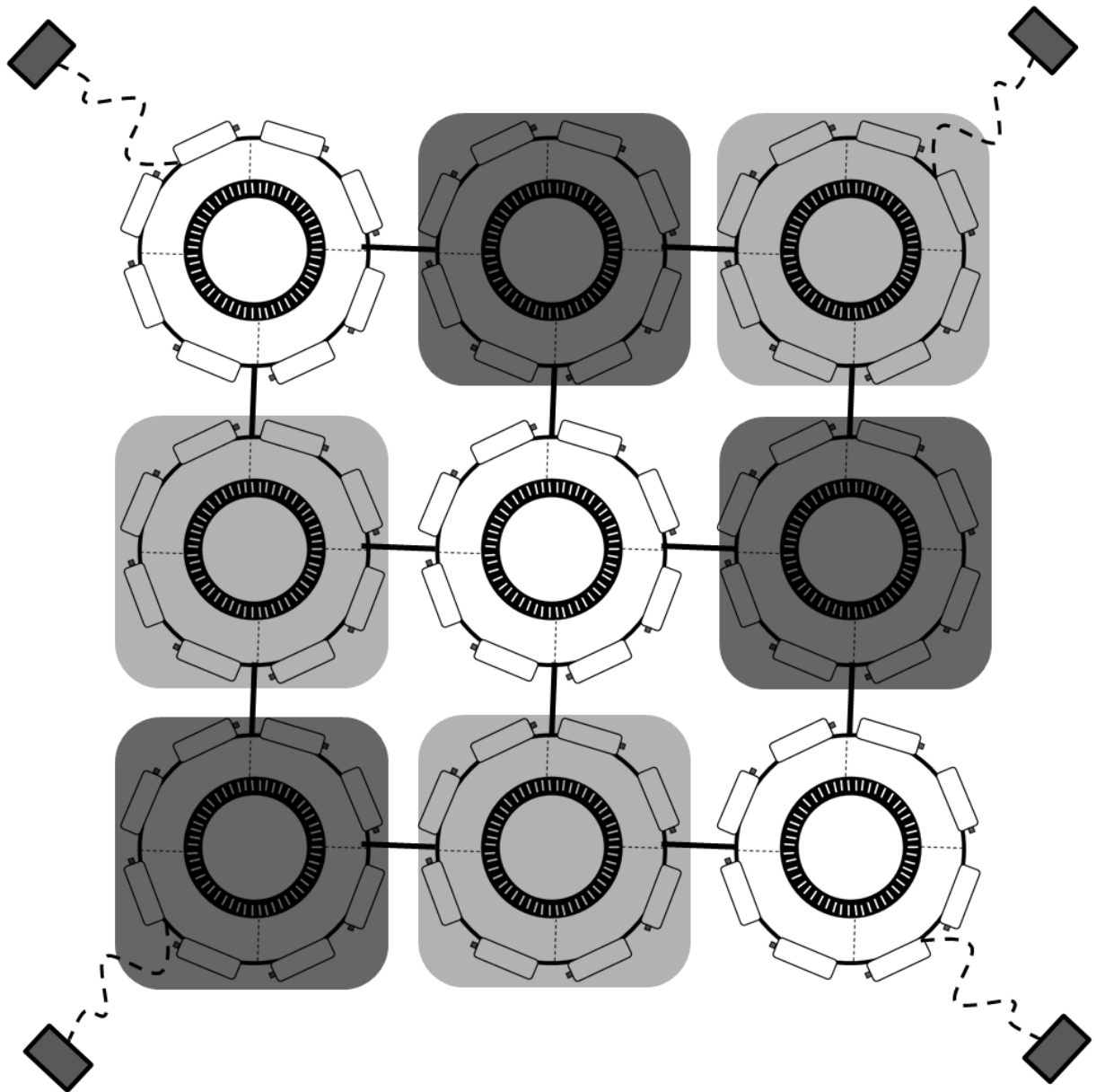


Figura 4. Esquema da distribuição das unidades experimentais de cada tratamento com diferentes níveis de sombreamento na estação amostral para avaliar as respostas da comunidade de algas perifíticas.

4.3 Substrato artificial

Optou-se pela utilização de lâminas de vidro (Figura 3) como substrato artificial para a colonização do perifíton, por este material ser quase totalmente inerte do ponto de vista químico, apresentar custo reduzido, ser de fácil manuseio, apresentar área de colonização definida e constante, reduzir a heterogeneidade na distribuição espacial do perifíton, apresentar tempo de exposição conhecido e permitir boa reprodutibilidade (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2003; FERNANDES, 2005). Além disso, são recomendadas em estudos comparativos, como por exemplo,

gradientes de poluição, biomonitoramento, colonização, taxas de crescimento e de imigração (WETZEL, 1983), sendo ideais para trabalhos que avaliem o processo de colonização e sucessão da comunidade perifítica. Lâminas de vidro também permitem a visualização direta do material ao microscópio, evitando a perda de estruturas de fixação que geralmente ocorre no processo de raspagem, facilitando a identificação das algas (BICUDO, 1990).

4.4 Estação amostral e periodicidade das coletas

Para a realização do experimento, foi determinada uma estação amostral ($20^{\circ}16'650''S$ e $40^{\circ}18'361''W$) situada entre as margens superior e esquerda e as duas ilhas presentes na lagoa, conforme mostrado na Figura 5. Esta estação foi escolhida por representar uma região mais aberta no ambiente estudado, portanto com menor interferência externa de sombreamento, e por apresentar o fundo mais plano e maior profundidade, conforme estudo de batimetria realizado por Perrone (1997), permitindo que as condições da água fossem mais semelhantes entre as unidades experimentais, diferindo apenas quanto às quantidades de luz impostas pelos tratamentos.

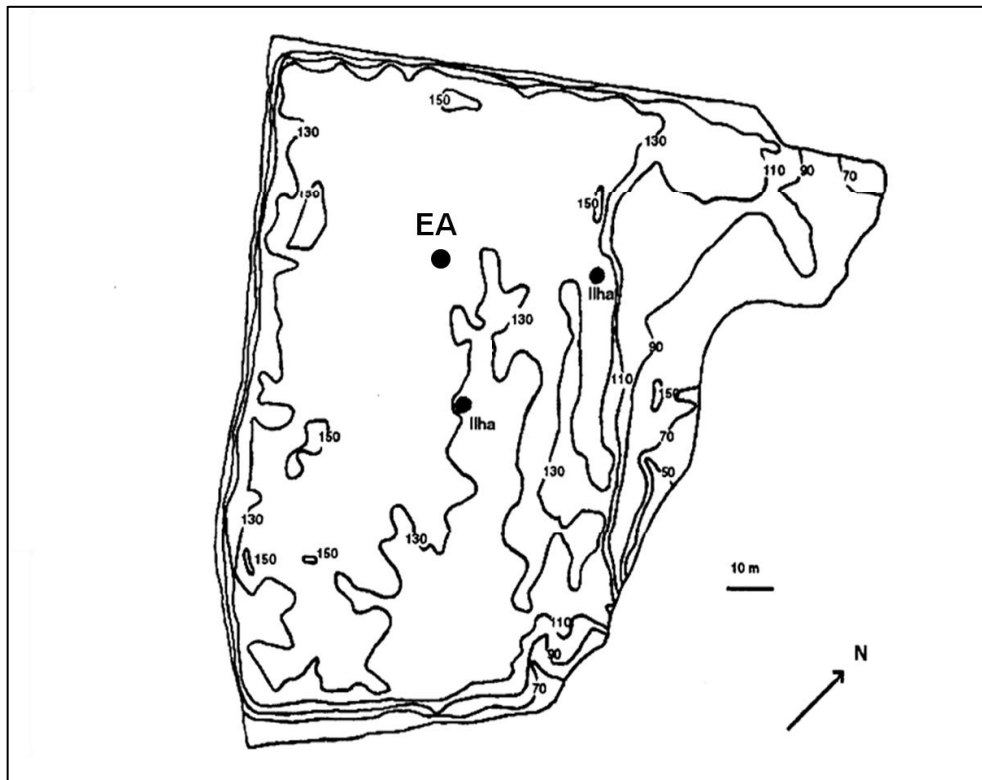


Figura 5. Mapa batimétrico da lagoa da UFES, evidenciando a localização da Estação Amostral (EA). Isóbatas expressas em centímetros (modificado de PERRONE, 1997).

O experimento foi implantado no dia 30 de setembro de 2009 e as amostragens foram realizadas durante todo o mês de outubro de 2009, com intervalos crescentes (de 2, 3, 4, 5, 6 e 7 dias) entre uma amostragem e outra. No total foram realizadas sete coletas para cada tratamento (02, 04, 07, 11, 16, 22, e 29/10/2009), correspondendo aos 2º, 4º, 7º, 11º, 16º, 22º e 29º dias de colonização. A periodicidade estabelecida neste trabalho (intervalos mais curtos nos estágios iniciais da sucessão e mais espaçados nos estágios finais) visou acompanhar tanto a rápida colonização dos organismos perifíticos quanto a estabilidade da comunidade (FERNANDES, 1997). Segundo Pompêo e Moschini-Carlos (2003), o tempo de exposição do substrato para que se alcance uma comunidade madura é extremamente variado, dependendo das condições do meio e da sazonalidade, mas, de maneira geral, um período estimado em quatro semanas é suficiente para a estabilização do perifíton.

4.5 Variáveis climatológicas

Os dados climatológicos do município de Vitória, referentes aos meses de setembro e outubro de 2009, foram obtidos no Serviço de Informações Agrometeorológicas (SIAG) - Incaper. Foram obtidas informações diárias sobre temperatura do ar, precipitação pluviométrica, velocidade do vento e radiação solar. *In situ*, também foram determinadas a temperatura do ar (°C) com termômetro de bulbo e a velocidade do vento (m.s^{-1}) com anemômetro portátil Instrutherm AD-250.

4.6 Atenuação da luz nos tratamentos

Para monitorar os efeitos da atenuação da luz gerada pelos tratamentos ao longo do processo sucessional foram registrados junto a cada unidade experimental o valor da radiação incidente e da radiação subaquática em w.m^{-2} , com luxímetro portátil Clauvin Arnoux CA810. Devido às diferenças de horário entre as medições e para efeito de comparação, optou-se por trabalhar com a porcentagem da radiação incidente que chega até a profundidade de 0,20 m, sendo calculada pela fórmula:

$$\% \text{Radiação} = \frac{\text{Radiação subaquática} \times 100}{\text{Radiação incidente}}$$

4.7 Variáveis limnológicas

As variáveis limnológicas foram analisadas em triplicata ($n=3$) e amostradas em três diferentes pontos da estação amostral (próximos às unidades experimentais) a 0,20 m da subsuperfície da coluna d'água, na mesma profundidade em que se encontravam as lâminas de vidro colonizadas pelo perifíton. Tais medidas foram tomadas sempre pela manhã (entre 08h30min e 11h30min).

4.7.1 Variáveis limnológicas determinadas em campo

A profundidade da coluna d'água (m) foi determinada com profundímetro Speed Tech SM-5. A transparência média (m) foi determinada por meio da leitura da profundidade do disco de Secchi, no lado sombreado da embarcação. A profundidade da zona eufótica (m) foi estimada com base nos valores de transparência multiplicados por três (COLE, 1975), sendo o valor final admitido como correspondente a 1% da radiação incidente na superfície da coluna d'água (ESTEVES, 1998b). A temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e o oxigênio dissolvido (mg.L^{-1} e % de saturação) foram determinados, utilizando-se o medidor Multiparâmetros YSI 85, com o qual também foram determinados a salinidade (‰) e a condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$). O pH foi determinado utilizando-se o potenciômetro digital portátil Alforkit At 300.

4.7.2 Variáveis limnológicas determinadas em laboratório

A turbidez (NTU) foi determinada com o turbidímetro Alforkit Plus V1.25. Para determinação dos Sólidos Totais em Suspensão (STS – mg.L^{-1}) as amostras foram filtradas a vácuo em filtros de fibra de vidro GF-1, previamente pesados. Posteriormente, os filtros foram mantidos em estufa a 60°C por 48 h e após este período foram novamente pesados, sendo os resultados obtidos pela diferença entre o peso final e o inicial, divididos pelo volume da amostra filtrada (APHA, 1992). A alcalinidade total (mEq.L^{-1}) foi determinada através do método "Gran", utilizando 0,01 N de ácido forte como redutor do tamponamento da amostra e os resultados foram obtidos pelo programa ALCAGRAN.BAS (Carmouze, 1994). Para determinação da clorofila *a* da água (mg.L^{-1}), as amostras foram filtradas em filtro de fibra de vidro

GF-1 e a extração foi realizada utilizando-se acetona 90% por um período de 24 horas, sob refrigeração (APHA, 1992). Os resultados foram obtidos através do método espectrofotométrico proposto por Lorenzen (1967).

Para análise dos nutrientes, amostras de água foram coletadas a 0,20 m da subsuperfície, no mesmo local onde foram determinadas as demais variáveis limnológicas. As amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno e mantidas sob baixa temperatura no transporte até o laboratório, quando então foram filtradas a vácuo em filtro de fibra de vidro GF-1, para determinação dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrito, nitrato, ortofosfato e ortosilicato). O restante da amostra sem filtrar foi utilizado para determinar as concentrações totais de fósforo. Após esta etapa, as amostras foram mantidas congeladas para posterior análise.

As análises de nitrogênio amoniacal, ortofosfato, fósforo total e ortosilicato foram realizadas no Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) e as análises de nitrito e nitrato foram realizadas no Laboratório de Taxonomia e Ecologia de Algas Continentais da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Os nutrientes analisados e seus respectivos métodos estão listados a seguir:

- Nitrogênio amoniacal ($\mu\text{g N-NH}_4 \text{ L}^{-1}$), segundo Grasshoff et al (1983);
- Nitrito ($\mu\text{g N-NO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$), segundo Golterman et al (1978);
- Nitrato ($\mu\text{g N-NO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$), segundo Mackereth et al (1978);
- Ortofosfato ($\mu\text{g P-PO}_4 \cdot \text{L}^{-1}$), utilizando Cromatógrafo de íons 861 Advanced Compact IC (Metrohn);
- Fósforo total ($\mu\text{g PT} \cdot \text{L}^{-1}$), segundo Valderrama (1981);
- Ortossilicato ($\text{mg Si-SiH}_4\text{O}_4 \cdot \text{L}^{-1}$), segundo Aminot e Chaussepied (1983).

4.8 Variáveis biológicas

4.8.1 Amostragem da comunidade de algas perifíticas

As variáveis biológicas da comunidade perifítica foram analisadas em triplicata (n=3). Para compor cada amostra, durante as coletas foram retiradas, por meio de sorteio,

cinco lâminas de vidro de cada unidade experimental, as quais foram acondicionadas em frascos de polietileno contendo água do local previamente filtrada em filtros de fibra de vidro GF-1 para retirada de organismos planctônicos e outros materiais particulados. Em laboratório, as algas perifíticas foram separadas do substrato através de raspagem com escova de cerdas macias, estilete e jatos de água da lagoa (filtrada previamente), tomando-se o máximo de cuidado para evitar danos às estruturas das algas perifíticas utilizadas nas etapas de identificação. Posteriormente, o volume com a amostra raspada foi padronizado adicionando-se água da lagoa filtrada até um valor conhecido. A área de cada lâmina colonizada pelas algas perifíticas foi calculada com o auxílio de um paquímetro. Em seguida, foram retiradas alíquotas de cada amostra padronizada para proceder com as análises: qualitativa, quantitativa, determinação dos pigmentos fotossintéticos, massa seca, massa seca livre de cinzas e cinzas. Todo esse procedimento foi baseado nas recomendações de Pompêo e Moschini-Carlos (2003).

4.8.2 Análise qualitativa

A análise qualitativa foi realizada a partir de amostras vivas e de amostras fixadas com solução formalina 4% (BICUDO; MENEZES, 2005), utilizando microscópio óptico Olympus CX 41 equipado com ocular de medição e câmara clara. Os táxons foram esquematizados, medidos e identificados, a partir de análise populacional, utilizando-se bibliografia especializada, visando a identificação ao nível específico, sempre que possível. Os sistemas de classificação utilizados para Classes foram Round, Crawford e Mann (1990) para Bacillariophyceae, van den Hoek, Mann e Jahns (1995) para Zygnemaphyceae, e Round (1965;1971) para as demais Classes. Para identificação de categorias taxonômicas inferiores utilizou-se bibliografias clássicas como Komárek e Fott (1983), Anagnostidis e Komárek (1988), Komárek e Anagnostidis (1989, 1990, 1999 e 2005), Bourrelly (1966, 1968 e 1970), Krammer e Lange-Bertalot (1986), entre outras, com identificação atualizada segundo o "Index Nominum Algarum" (2010). A riqueza total foi determinada através do número de táxons presentes nas amostras. Além disso, foi determinada a contribuição percentual das Classes e das formas de vida das algas (unicelular, colonial e filamentosa) na composição taxonômica da comunidade.

4.8.3 Análise quantitativa

A análise quantitativa foi realizada a partir de amostras fixadas com solução de lugol acético 5% e seguiu o método de sedimentação em câmaras (UTERMÖHL, 1958), utilizando-se microscópio invertido Nikon Eclipse TS 100, com aumento de 400 vezes. O procedimento de contagem foi o de campos aleatórios descrito por Uehlinger (1964). Cada célula, colônia e filamento foram considerados como um indivíduo. O limite de contagem foi estabelecido por dois procedimentos: quantificação de no mínimo 100 indivíduos da espécie mais comum (LUND; KIPLIND; LECREN, 1958) e curva de rarefação de espécies (BICUDO, 1990). Os resultados da análise quantitativa foram expressos em indivíduos.cm⁻² e calculados de acordo com APHA (1992), através da fórmula seguinte:

$$\text{Indivíduos.cm}^{-2} = \frac{N \times At \times Vt}{Ac \times Vs \times As}$$

Onde:

N = número de organismos contados;

At = área total do fundo da câmara de sedimentação (mm²);

Vt = volume total da amostra raspada (mL);

Ac = área contada (área do campo x número de campos contados) (mm²);

Vs = volume da câmara de sedimentação (mL);

As = área do substrato raspado (cm²).

A partir dos dados de densidade, foram calculadas as espécies dominantes (aquelas cuja ocorrência numérica supera 50% do número total de indivíduos em cada amostra) e as espécies abundantes (aquelas cuja ocorrência numérica supera o valor médio do número total de indivíduos de cada amostra), segundo Lobo e Leighton (1986). Foram calculadas também as contribuições relativas das Classes, das formas de vida e das espécies abundantes na densidade total.

4.8.4 Índices de diversidade (H') e equitabilidade (J')

Através dos dados de densidade, calcularam-se também os índices de diversidade e equitabilidade. A diversidade específica (H') foi calculada através do índice de

diversidade de Shannon-Weaver (SHANNON; WEAVER, 1963) e expressa em $\text{bits.indivíduos}^{-1}$, segundo a expressão:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

Sendo: $p_i = n_i / N$

Onde:

H' = diversidade específica;

n_i = número de indivíduos da espécie i ;

N = número total de indivíduos.

A eqüitabilidade (J') foi calculada através da seguinte fórmula, proposta por Pielou (1975, apud LEGENDRE; LEGENDRE, 1983):

$$J' = H'/H'_{\max}$$

Sendo: $H'_{\max} = \log_2 S$

Onde:

J' = eqüitabilidade;

H' = diversidade da amostra;

H'_{\max} = diversidade máxima da amostra;

S = número de espécies da amostra.

4.8.5 Massa seca, massa seca livre de cinzas e cinzas

A determinação da massa seca, massa seca livre de cinzas e das cinzas seguiu Schwarzbald (1990). Inicialmente, o perifíton raspado foi filtrado, sob vácuo, em filtros de fibra de vidro GF-1, previamente calcinados e pesados, e, em seguida, foi seco em estufa a 70 °C até que os mesmos atingissem peso constante, quando então, foram novamente pesados para a determinação da massa seca, expressa em g.m^{-2} . Posteriormente, o mesmo filtro contendo o material seco foi submetido à mufla a 550 °C durante três horas, seguido de pesagem, para a determinação da massa

seca livre de cinzas (matéria orgânica) e das cinzas. Os resultados foram expressos em g.m^{-2} .

4.8.6 Quantificação dos pigmentos

Os pigmentos clorofilas *a* e *b*, carotenóides e feopigmentos foram determinados segundo Apha (1992) através de filtração das amostras em filtro de fibra de vidro GF-1, extração com acetona 90% a frio, centrifugação (centrífuga SIGMA 2K15) e leitura pelo método espectrofotométrico (espectrofotômetro FEMTO 700 Plus). Os resultados foram obtidos em $\mu\text{g.cm}^{-2}$, utilizando-se as seguintes fórmulas propostas por Parsons, Takahashi e Hargrave (1984) para clorofilas *a*, *b* e carotenóides e por Lorenzen (1967) para feopigmentos, sendo todas adaptadas para a comunidade perifítica:

- Clorofilas *a*, *b* e carotenóides:

$$\text{Cl } a = 11,85 A_{665} - 1,54 A_{647} - 0,08 A_{630}$$

$$\text{Cl } b = 21,03 A_{647} - 5,43 A_{665} - 2,66 A_{630}$$

$$\text{Cp} = 7,60 (A_{480} - 1,49 A_{510})$$

$$\mu\text{g.cm}^{-2} = \frac{C_x \times v}{\text{AR} \times p}$$

Onde:

A_x = absorvância no comprimento de onda *x*, sendo A_{665} , A_{647} , A_{630} corrigidos com $1 \times A_{750}$, A_{510} corrigido com $2 \times A_{750}$ e A_{480} corrigido com $3 \times A_{750}$;

C_x = valor obtido com as fórmulas de Cl *a*, Cl *b* e Cp;

v = volume de acetona;

AR = área raspada;

p = passo ótico da cubeta.

- Feopigmentos:

$$\mu\text{g.cm}^{-2} = \frac{26,73 (1,7 [A_{665ac}] - A_{665}) \times v}{A \times p}$$

Onde:

A_{665ac} = leitura no comprimento de onda 665 depois da acidificação com HCl 0,1N, corrigido de $1 \times A_{750}$ também acidificado;

A_{665} = leitura no comprimento de onda 665;

v = volume de acetona;

A = área raspada;

p = passo ótico da cubeta.

4.8.7 Taxa de acumulação de biomassa

As taxas de acumulação da biomassa de algas foram calculadas através da diferença entre o teor de clorofila *a* ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) de dois estágios consecutivos dividido pelo intervalo de tempo (dias) (SLÁDECEK; SLÁDECKOVÁ, 1964).

4.8.8 Índice Autotrófico (IA)

O Índice Autotrófico (IA) é uma medida de determinação da natureza trófica da comunidade perifítica, permitindo evidenciar e comparar as etapas de colonização e inferir à cerca das fases heterotróficas e autotróficas do processo sucessional. O IA foi obtido através do quociente entre valores de massa seca livre de cinzas e os de clorofila *a* (APHA, 1992). Valores da ordem de 50 a 200 são indicativos de natureza autotrófica. Valores superiores a 200 indicam a presença de associações heterotróficas na comunidade.

4.8.9 Índices de Lakatos

Foram adotados os índices de Lakatos (1989), definidos a partir de dados de massa seca ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$), cinzas (%) e clorofila *a* (%), para a classificação do perifíton, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do perifíton de acordo com variações na biomassa (LAKATOS, 1989).

Tipo	Massa seca	g.m⁻¹
I	Perifíton com massa elevada	>40
II	Perifíton com massa média	20-40
III	Perifíton com massa baixa	<20
Conteúdo de cinzas		%
I	Perifíton inorgânico	>75
II	Perifíton inorgânico-orgânico	50-75
III	Perifíton orgânico-inorgânico	25-50
IV	Perifíton orgânico	<25
Clorofila a		%
I	Perifíton autotrófico	>0,60
II	Perifíton auto-heterotrófico	0,25-0,60
III	Perifíton hetero-autotrófico	0,10-0,25
IV	Perifíton heterotrófico	<0,10

4.9 Tratamento e análises estatísticas

Os resultados obtidos a partir do experimento foram inicialmente avaliados com o uso da estatística descritiva, analisando-se a amplitude de variação dos dados e a dispersão em torno da média, através dos programas STATISTICA 7.0 e MICROSOFT EXCEL 2007. Como medidas de dispersão foram calculados desvios padrão, coeficientes de variação e erros padrão. Para análise inferencial, aplicou-se a análise de variância (ANOVA one-way) ao nível de 5% de significância para a comparação das variáveis ao longo da sucessão e entre tratamentos, utilizando-se o programa STATISTICA 7.0. Para comparação de médias e determinação da diferença mínima significativa entre as variáveis foi realizado o teste de comparações múltiplas de Tukey ao nível de 5% de significância, através do programa ASSISTAT 7.5 beta. Para avaliação conjunta dos dados abióticos, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP), a partir de matrizes de correlação dos dados. A ordenação das variáveis bióticas em função das abióticas foi realizada a partir da Análise de Correspondência Canônica (ACC). O Teste Monte Carlo (999 permutações; $p < 0,05$) informa a probabilidade dos autovalores terem ou não sido distribuídos ao acaso; o coeficiente canônico permite avaliar o peso de

cada variável ambiental na ordenação das unidades amostrais nos eixos; as correlações “intra-set” refletem a correlação entre as variáveis ambientais e a ordenação nos eixos mantendo-se a relação de dependência espécie-ambiente (TER-BRAAK, 1986) e o coeficiente de correlação de Pearson (r) resulta da relação entre os valores da ordenação (posição das unidades amostrais nos eixos) e variáveis individuais (bióticas e abióticas) utilizadas na construção da ordenação (McCUNE; MEFFORD, 1999). Para a construção das matrizes biológicas foram considerados somente os táxons abundantes em cada tratamento, além dos dados de biomassa da comunidade. O programa estatístico utilizado para realização das análises multivariadas (ACP e ACC) foi o PC-ORD versão 4.14 para Windows (McCUNE; MEFFORD, 1999).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁCS, E.; KISS, K. T. Colonization process of diatoms on artificial substrats in the river Danube near Budapest (Hungary). **Hydrobiologia**, v. 269, p. 307-315, 1993.
- ALMEIDA, A. C. G. **Desenvolvimento da comunidade perifítica sobre substrato artificial em um reservatório paranaense**. 2001. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, 2001.
- AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques en milieu marin**. Brest: Centre National pour l'Éexploration des Océans, 395 p., 1983.
- ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 – Oscillatoriales. **Archiv für Hydrobiologie**, v. 50, n. 53, p.327-472, 1988.
- APHA - **American Publication Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater**. GREENBERG, A. E.; CLESCERI, L. S.; EATON, A. D. (Eds.).18º Ed. U.S.A: Washington D. C., 1992.
- BARCELOS, E. M. **Avaliação do perifíton como sensor da oligotrofização experimental em reservatório eutrófico (Lago das Garças, São Paulo)**. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. 118 p. 2003.
- BARNES, R. S. K. **Coastal lagoons: The natural history of a neglected habitat**. Cambridge: Cambridge University Press, 1980. 106 p.

BATISTA, J. L. **Contribuição para estimativa da produtividade primária fitoplanctônica na lagoa da UFES (Vitória, ES) pelo método do oxigênio**. 2003. Monografia de Graduação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.

BICUDO, D. C. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 3, n. 1, p. 459-475, 1990.

BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições**. São Carlos: Ed. RiMa, 2005. 508p.

BORGO, I. A. **UFES 40 anos de história**. UFES. Vitória. 386p. 1995.

BOURRELY, P. **Les algues d'eau douce** – Indication à la Systématique. Tome I: Les algues vertes. Paris: N. Boubée, 1966. 572p.

_____. **Les algues d'eau douce** – Indication à la Systématique. Tome II: Les algues jaunes et brunes Crysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. Paris. N. Boubée, 1968. 517p.

_____. **Les algues d'eau douce** – Indication à la Systématique. Tome III: Les algues blues et rouges Les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines. Paris: N. Boubée, 1970. 606p.

BORDUQUI, M.; FERRAGUT, C.; BICUDO, C. E. M. Chemical composition and taxonomic structure vertical and seasonal variation of periphyton community in a shallow hypereutrophic reservoir (Garças Reservoir, São Paulo, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.20, p.381-392, 2008.

BOTT, T. L.; BROCK, J. T.; DUNN, C. S.; NAIMAN, R. J.; OVINK, R. W.; PETERSON, R. C. Benthic community metabolism in four temperate stream system: an inter-biome comparison and evaluation of the river continuum concept. **Hydrobiologia**. v.123, p.3-45, 1985.

CAMARGO-SANTOS, D. **Distribuição vertical da comunidade fitoplanctônica em uma lagoa artificial no estado do Espírito Santo (lagoa da UFES, Vitória, ES)**. 2005. 87 p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

CARETTA, R. **Variação temporal a curto prazo da comunidade de algas perifíticas em substrato natural na lagoa da UFES (Vitória ES)**. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, (em prep.).

CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. Editora Edgard Blucher/FAPESP, Sao Paulo, 1994. 254p.

CAVATI, B. **Algas perifíticas em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno, Linhares-ES): variação espacial e temporal da**

comunidade. 2006. 96p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

_____. **Algas epilíticas em um reservatório tropical raso (Vitória, ES): Estrutura e dinâmica em diferentes escalas temporais.** 2008. 170p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

CAVATI, B.; FERNANDES, V. O. F. Algas perifíticas em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno – Linhares, Estado do Espírito Santo, Brasil): variação espacial e temporal. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 439-448, 2008.

CERRÃO, G. C.; MOSCHINI-CARLOS, V.; SANTOS, M. J.; RIGOLIN, O. Efeito do enriquecimento artificial sobre a biomassa de perifíton em tanques artificiais na represa do Lobo Broa. **Ver. Bras. Biol.** São Carlos, v.51, p. 71-78, 1991.

CETRANGOLO, C. **Variação temporal e espacial da comunidade ficoperifítica em um reservatório de abastecimento doméstico no Estado do Espírito Santo (reservatório Duas Bocas – Cariacica).** 2004. 77p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

CHAMIXAES, C. B. **Variação temporal da biomassa, composição de espécies e produtividade das algas perifíticas relacionadas com as condições ambientais de pequenos rios da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lobo (Itirapina – SP).** 1991. 333p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

COLE, G. A. **Textbook of Limnology.** Saint-Louis: C. V. Mosby, 1975. 283p.

COSTA, A. G. **Estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas na lagoa Mãe-Bá, Guarapari-Anchieta, ES.** 2010. 132p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

COSTA, R. B. Adversidades climáticas em Vitória? **IHGES-PMV.** Vitória. 1992.

DeNICOLA, D. M.; HOAGLAND, K. D. Influences of canopy cover on spectral irradiance and periphyton assemblages in a prairie stream. **J. North Am. Menthol. Soc.** v.11, p.391-404, 1992.

ENGLE, D. L.; MELACK, J. M. Consequences of riverine flooding for seston and the periphyton of floating meadows in a Amazon floodplain lake. **Limnology and Oceanography.** v.38, p.1500-1520, 1993.

ESTEVES, F. A. Lagoas costeiras: origem, funcionamento e possibilidades de manejo. In: ESTEVES, E. F. (Ed.) **Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ).** Rio de Janeiro: NUPEM/UFRJ, 1998a. 464p.

_____. **Fundamentos de Limnologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1998b. 602p.

ESTEVES, F. A.; ROLAND, F.; BOZELLI, R. L. Lagoas Costeiras do Rio de Janeiro: até quando? **Ciência Hoje**, v. 12, n. 8, p. 68-69, 1990.

FÉBOLI, W. L. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Folha Domingos Martins-ES**, Brasília, DNPM/CPRM, 1993.

FELISBERTO, S. A. **Algas perifíticas sobre substrato artificial e natural no rio do Corvo (tributário do reservatório de Rosana): composição, abundância, biomassa e produtividade**. 2007. 110p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

FERMINO, F. S. **Avaliação sazonal dos efeitos do enriquecimento por N e P sobre o perifíton em represa tropical rasa mesotrófica (Lago das Ninféias, São Paulo)**. 2006. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. 121 p. 2006.

FERNANDES, V. O. **Estudos limnológicos na Lagoa de Jacarepaguá (RJ): Variáveis abióticas e mudanças na estrutura e dinâmica da comunidade perifítica em *Typha domingensis* Pers.** 1993. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1993.

_____. **Variação temporal da estrutura e dinâmica da comunidade perifítica em dois tipos de substrato na Lagoa Imboacica, Macaé (RJ)**. 1997. 198 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1997.

_____. Variação temporal e espacial na composição da comunidade perifítica, na lagoa Imboacica. In: ESTEVES, F. A.(Ed.). **Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. Rio de Janeiro: Computer & Publish Editoração Gráfica, 1998. p. 221-236.

_____. Perifíton: conceitos e aplicações da limnologia à engenharia. In: ROLAND, F.; CESAR, D.; MARINHO, M. (Eds.). **Lições de Limnologia**, São Carlos: Rima, 2005. p. 351-370.

FERNANDES, V. O. ; CAVATI, B. ; SOUZA, B. D. ; MACHADO, R. G. ; COSTA, A. G. Lagoa Mãe-Bá (Guarapari-Anchieta, ES): um ecossistema com potencial de floração de Cianobactérias?. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, p. 366-381, 2009.

FERNANDES, V. O.; ESTEVES, F. A.. The use of indices for evaluating the periphytic community in two kinds of substrate in Imboassica Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. **Braz. J. Biol.**, São Carlos, v. 63, n. 2, 2003.

FERRAGUT, C. **Efeito do enriquecimento por nitrogênio e fósforo sobre a colonização e sucessão da comunidade de algas perifíticas: biomanipulação em reservatório raso oligotrófico em São Paulo**. 1999. 184p. Dissertação

(Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

FERRAGUT, C.; BICUDO, D. C. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade perifítica em represa oligotrófica tropical (São Paulo, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, v.32, n.3, p.569–583, 2009.

GODINHO-ORLANDI, M. J. L.; BARBIERI, S. M. Observação de microrganismos perifíticos (bactérias, protozoários e algas) na região marginal de um ecossistema aquático. **An. Sem. Reg. Ecol.** v.3, p. 135-155, 1983.

GOLDSBOROUGH, G.; ROBINSON, G. G. C. Pattern in Wetlands. In: STEVENSON, J. R.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, R. L. (Eds.). **Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems**. New York: Academic Press, San Diego. 1996. p.77-109.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for chemical analysis of freshwater**. (IBP Handbook, n. 8 2nd ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978. 213 p.

GONÇALVES, J. S. **Avaliação da seletividade de algas perifíticas a diferentes substratos artificiais em um reservatório eutrófico (lagoa de Captação da central de abastecimento de carros pipa da prefeitura de Vitória – Vitória, ES)**. 2010. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

GRASSHOFF, K.M.; EHRHARDT, K.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2. Ed. Basel: Verlag Chermie. 419p. 1983.

HANSSON, L. A. Factors regulating periphytic algal biomass. **Limnol. Oceanogr.** v.33, p.121-128, 1992.

HILL, W. R. Effects of light. In: STEVENSON, J. R.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, R. L. (Eds.). **Algal ecology: Freshwater Benthic Ecosystems**. New York: Academic Press. San Diego. 1996. p.121-144.

HILL, W. R.; HARVEY, B. C. Periphyton responses to higher trophic levels and light in a shaded stream. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. v.47, p.2307-2314. 1990.

HILL, W. R.; MULHOLLAND, P. J.; MARZOLF, E. R. Stream ecosystem responses to forest leaf emergence in spring. **Ecology**. v.82, p.2306-2319, 2001.

HILL, W. R.; RYON, M. G.; SCHILLING, E. M. Light limitation in a stream ecosystem: responses by primary producers and consumers. **Ecology**. v.76, n.4, p.1297-1309. 1995.

HOAGLAND, K. D.; PETERSON, C. G. Effects of light and wave disturbance on vertical zonation of attached microalgae in a large reservoir. **J. Phycol.** v.26, p.450-457, 1990.

HOAGLAND, K. D.; ROEMER, S. C.; ROSOWSKI, J. R. Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the Diatoms (Bacillariophyceae). **Am. J. Bot.** v.69, p.188-213, 1982.

HUDON, C.; BOURGET, E. The effect of light on the vertical structure of epibenthic diatom communities. **Bot. Mar.** v.26, p.317-330, 1983.

HUSZAR, V. L. M.; BICUDO, D. C.; GIANI, A.; FERRAGUT, C.; MARTINELLI, L. A.; HENRY, R. Subsídios para compreensão sobre a limitação de nutrientes ao crescimento do fitoplâncton e do perifiton em ecossistemas continentais lênticos do Brasil. In: ROLAND, F.; CESAR, D.; MARINHO, M. (Eds.). **Lições de Limnologia**, São Carlos: Rima, 2005. 517p.

INDEX NOMINUM ALGARUM. Disponível em <<http://ucjeps.berkeley.edu/INA.html>> Acesso em: 2010.

KING, D. K.; CUMMINS, K. W. Autotrophic-heterotrophic community metabolism relationship of the woodland stream. **Journal of Freshwater Ecology.** v.5, p.205-218. 1989.

KJERFVE, B. Coastal lagoon processes. In: KJERFVE, B. (Ed.). **Coastal lagoon processes**. Amsterdam: Elsevier Oceanography Series, n.60, 1994. 577p.

KLARER, D. M.; MILLIE, D. F. Aquatic macrophytes and algae at Old Woman Creek estuary and other Great Lakes coastal wetlands. **J. Great Lakes Res.** v.18, p.622-633, 1992.

KNOPPERS, B. Aquatic primary production in coastal lagoons. In: KJERFVE, B. (Ed.). **Coastal lagoon processes**. Amsterdam: Elsevier Oceanography Series, n.60, 1994. 577p.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4 – Nostocales. **Archiv für Hydrobiologie**, v. 56, p. 247-345, 1989.

_____. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 5 – Stigonematales. **Archiv für Hydrobiologie**, v. 59, p. 1-73, 1990.

_____. Chroococcales. In: Ettl, A. et al. (Orgs.). **Süßwasserflora von Mitteleuropa: Cyanoprokariota**. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. v. 19, 1999. 548p.

_____. Oscillatoriales. In: BÜDEL, B. et al (Orgs.). **Süßwasserflora von Mitteleuropa: Cyanoprokariota**. Stuttgart: Spektrum Akademischer Verlag. v. 19, n. 2, 2005. 759p.

KOMÁREK, J.; FOTT, B. Chlorophyceae – Chlorococcales. In: HUBERPESTALOZZI, G. **Das phytoplankton des Süßwassers: systematik und biologie**. Stugart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchlandlung. 1983. 1044 p.

KORTE, V. L.; BLINN, D. W. Diatom colonization on artificial substrata in pool and riffle zones studied by light and scanning electron microscopy. **J. Phycol.** v.19, p. 332-341, 1983.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae, 1: Naviculaceae. In: Ettl, H.; Gerloff, F.; Heyning, H. (Eds.). **Süßwasserflora von Mitteleuropa**. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. v. 2, n. 1, 1986. 876p.

LACERDA, L. D. Biogeochemistry of heavy metals in coastal lagoons. In: Kjerfve, B. (Ed.). **Coastal lagoon processes**. Amsterdam: Elsevier Oceanography Series, n.60, 1994. 577p.

LAKATOS, G. Composition of reed periphyton (biotecton) in the Hungarian part of lake Fertő. **Biol. Forschun. Für Burg**. V.71, p. 125-134. 1989.

LASSERE, P. Coastal lagoons: sanctuary ecosystems, cradles for culture, targets for economic growth. **Nature and Resources (UNESCO)**, v. 15, n. 4, p. 2-21, 1979.

LEGENDRE, L.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology**. Elsevier Sci. Publ, 1983. 419p.

LESSA, P. **Avaliação da qualidade ecológica em tanques de piscicultura (Viana, ES) com base na ecologia das algas perifíticas e variáveis ambientais**. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, (em prep.).

LOBO, E. A.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitárias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras y esteros de rios de la zona central de Chile. **Rev. Biol. Mar.**, v. 22, n. 1, p. 1-29. 1986.

LORENZEN, C. J. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. **Limnology and Oceanography**, v. 12, p. 343-346, 1967.

LOSEE, R. F.; WETZEL, R. G. Selective light attenuation by the periphyton complex. In: WETZEL, R. G. (Ed.). **Periphyton of freshwater ecosystems**. Dr. W. Junk Publishers, The Hague. 1983. p. 89-96.

LOWE, R. L. Periphyton patterns in lakes. In: STEVENSON, J. R.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, R. L. (Eds.). **Algal ecology: freshwater benthic ecosystems**. New York: Academic Press. 1996. p. 57-76.

LOWE, R. L.; PAN, Y. Benthic algal communities as biological monitors. In: STEVENSON, J. R.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, R. L. (Eds.). **Algal ecology: freshwater benthic ecosystems**. New York: Academic Press. 1996. p. 705-739.

LUND, J. W.; KIPLIND, C.; LECREN, E. D. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. **Hydrobiologia**, v. 11, p. 143 – 170, 1958.

LYFORD, J. H.; GREGORY, S. V. The dynamics and structure of periphyton communities in three Cascade Mountain streams. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** v.19, p.1610-1616, 1975.

MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M. W.; GONZALES, S. R.; SCHEENINI, C. A.; SANTOS NETO, A.; PALMEIRA, R. C. B.; PIRES, J. L.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H. E. F. Geologia. In: **BRASIL-Ministério das Minas e Energia**. Projeto Radam Brasil, Folhas SF. 23/24, Rio de Janeiro/Vitória; geologia. Rio de Janeiro, 1983.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. **Water analysis**: Some revised methods for limnologists. Freshwater Biological Association. Scientific Association. Kendall: Titus Wilson & Son Ltd, 1978. 117 p.

MARKS, J. C.; LOWE, R. L. Interactive effects of nutrient availability and light levels on the periphyton composition of a large oligotrophic lake. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** v.50, p. 1270-1278, 1993.

MARTINS, F. C. O. **Estrutura das comunidades perifíticas (em substrato natural) e fitoplânctônica na lagoa da UFES (Vitória, ES) e utilização destas comunidades como bioindicadoras da qualidade da água**. 2002. 65p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

_____. **Respostas ecofisiológicas da comunidade perifítica (in situ) a diferentes condições ambientais no rio Santa Maria da Vitória, ES**. 2006. 133p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

MARTINS, F. C. O.; FERNANDES, V. O. Fitoplâncton da lagoa do campus universitário da UFES (Vitória, ES): estrutura da comunidade e considerações ecológicas. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 1, n. 2, p. 101-109, 2006.

_____. Estrutura da comunidade de algas perifíticas em substrato natural da lagoa da Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 2, n. 1, p. 11-20, 2007.

McCUNE, B.; MEFFORD, M. J. PC-ORD for Windows. **Multivariate Analyses of Ecological Data**, version 4.14. MjM Software Design, Oregon, USA, 1999.

MENDES, R. S.; BARBOSA, F. A. R. Efeito do enriquecimento *in situ* sobre a biomassa da comunidade perifítica de um córrego de altitude da Serra do Cipó (MG). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.14, p.77-86, 2002.

MOSCHINI-CARLOS, V. **Dinâmica e estrutura da comunidade perifítica (substratos artificial e natural) na zona de desembocadura do rio Paranapanema, represa de Jurumirim – SP**. 1996. 172p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade federal de São Carlos, São Carlos, 1996.

_____. Importância, estrutura e dinâmica da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos continentais. In: Pompêo, M. L. M. (Org.). **Perspectivas da limnologia no Brasil**. São Luis: Ed. União, 1999. p. 91-103.

MOURA, A. N. **Estrutura e produção primária da comunidade perifítica durante o processo de colonização em substratos artificiais no lago das Ninféias, São Paulo, SP: análise comparativa entre período chuvoso e seco**. 1997. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, 1997.

MÜLLER, U. Seasonal development of epiphytic algae on *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Es Sten. In a eutrophic lake. **Arch. Hydrobiol.**, v.129, n.3, p.273-292, 1994.

MURAKAMI, E. A.; RODRIGUES, L. Respostas das algas perifíticas às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes em curto período de tempo. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v.31, n.3, p. 279-284, 2009.

OLIVEIRA, L. B. **Avaliação da estrutura e produtividade primária do fitoplâncton na lagoa da UFES (Vitória, ES)**. Relatório final do Programa Institucional de Bolsas de Pesquisa (PIBIC), Universidade Federal do Espírito Santo. 2006. 20 p.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara S.A., 1983. 434p.

PANITZ, C. M. N. **Estudo comparativo do perifíton em diferentes substratos artificiais na represa do Lobo (“Broa”), São Carlos – SP**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1980.

PARSONS, T. R.; TAKAHASHI, M.; HARGRAVE, B. **Biological Oceanographic Process**. 3. ed. Oxford: Pergamon Press Ltd, 1984. 330p.

PEREIRA, J.B.; LOUREIRO FERNANDES, L. Variação temporal do zooplâncton da lagoa da UFES, Vitória, Espírito Santo. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.11, n.2, p.79-88, 1999.

PEREIRA, T. A. **Variabilidade espacial da comunidade de algas perifíticas no rio São Mateus, ES**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical), Universidade Federal do Espírito Santo, (em prep.).

PERRONE, A. **Diagnóstico ambiental da lagoa da UFES-ES: morfometria e concentrações de matéria orgânica no sedimento e sólidos na água**. 1997. 34p. Monografia (Especialização), Universidade Federal do Espírito Santo, 1997.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifíton: aspectos ecológicos e metodológicos**. São Carlos: Ed. RiMa, 2003. 134p.

RAMOS, R. J. **Concentração de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio no sedimento e na coluna d'água da lagoa da UFES (Vitória, ES) e sua utilização**

como indicador da qualidade ambiental. 2004. Monografia de Graduação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

RIER, S. T.; STEVENSON, J.; LALIBERTE, G. D. Photo-acclimation response of benthic stream algae across experimentally manipulated light gradients: a comparison of growth rates and net primary productivity. **Journal of Phycology.** v.42, p.560-567, 2006.

ROBERTS, S.; SABATER, S.; BEARDALL, J. Benthic microalgal colonization in stream of differing riparian cover and light availability. **Journal of Phycology.** v.40, p.1004-1021, 2004.

ROCHA, A. J. A. **Sucessão do perifíton em substrato artificial em dois lagos de Brasília (DF).** 1979. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 1979.

RODRIGUES, L.; FONSECA, I. A.; LEANDRINI, J. A.; FELISBERTO, S. A.; SILVA, E. L. V. Distribuição espacial da biomassa perifítica em reservatórios e relação com o tipo de substrato. In: RODRIGUES, L.; THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. **Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais.** São Carlos: Ed RiMa, 2005. p. 87 - 96.

ROEMER, S. C.; HOAGLAND, K. D.; ROSOWSKI, J. R. Development of a freshwater periphyton community as influenced by diatom mucilages. **Can. J. Bot.** v.62, p.1799-1813, 1984.

ROSS, P. J. Dynamics of periphytic communities. In: WETZEL, R. G. (Ed.). **Periphyton of freshwater ecosystems.** The Hague: Dr. W. Junk, 1983. p. 5-10 (Developments in Hydrobiology, 17).

ROUND, F. E. **The biology of the algae.** London: Edward Arnold Ltd, 1965. 269 p.

_____. The taxonomy of the Chlorophyta, 2. **Brit. Phycology Journal**, v. 6, n. 2, p. 235-264, 1971.

ROUND, F. E.; CRAWFORD, R. M.; MANN, D. G. **The Diatoms. Biology and orphology of the genera.** New York: Cambridge University Press, 1990. 129p.

SAND-JENSEN, K. Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. In: Wetzel, R. G. (Ed.). **Periphyton of freshwater ecosystems.** The Hague Dr. W. Junk, 1983. p. 63-71.

SARTORI, G. **Variação temporal da comunidade perifítica em substrato artificial no ponto de captação do reservatório Duas Bocas (Cariacica, ES).** 2005. 56p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

SCHWARZBOLD, A. Métodos ecológicos aplicados ao estudo do perifíton. **Acta Limnol. Bras.** Botucatu. 1990. v. III. p 545-592.

SCHWARZBOLD, A. **Efeitos do regime de inundação do rio Mogi-Guaçu (SP) sobre a estrutura, diversidade, produção e estoque do perifíton na lagoa do Infernã**. 1992. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 1992.

SEMIONATO, S. **Variação temporal da comunidade perifítica (em substrato artificial) e sua utilização como bioindicador da qualidade da água na lagoa da UFES (Vitória, ES)**. 2002. 60p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

SEKAR, R.; VENUGOPALAN, V. P.; NANDAKUMAR, K.; NAIR, K. V. K.; RAO, V. N. R. Early stages of biofilm succession in a lentic freshwater environment. **Hydrobiologia**. v.512, p.97-108, 2004.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana, University of Illinois Press, 1963, 173p.

SHORTREED, K. S.; STOCKNER, J. G. Periphyton biomass and species composition in a coastal rainforest stream in British Columbia: effects of environmental changes caused by logging. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. v.40, p.1887-1895, 1983.

SIQUEIRA, N. S. **Perifíton em tanques de cultivo de peixes em reservatório: o processo de colonização e sucessão utilizando substrato artificial**. 2008. 50p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais – Ciências Ambientais) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

SLÁDECEK, V.; SLÁDECKOVÁ, A. Determination of the periphyton production by means of the glass slide method. **Hydrobiologia**, v. 23, p. 125-158, 1964.

SLÁDECKOVÁ, A. Limnological investigation methods for the periphyton (Aufwuchs) community. **Bot. Rev.** V. 28(2). p. 286-350. 1962.

SOUZA, B. D. **Estrutura, dinâmica e produtividade primária do fitoplâncton como base para estimativa do estado trófico de uma lagoa costeira no estado do Espírito Santo (lagoa Mãe-Bá, Guarapari)**. 2008. 161p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual da Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2008.

STEINMAN, A. D.; McINTIRE, C. D. Effects of irradiance on the community structure and biomass of algal assemblages in laboratory streams. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. Ottawa, v.44, p.1640-1648, 1987.

STEINMAN, A. D.; McINTIRE, C. D.; GREGORY, S. V. L.; LAMBERTI, G. A. Effects of irradiance and grazing on lotic algal assemblages. **Journal of Phycology**. v.25, p.478-485, 1989.

STEVENSON, J. R. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: STEVENSON, J. R.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, R. L. (Eds.). **Algal ecology: freshwater benthic ecosystems**. New York: Academic Press. 1996a. p. 3-30.

SULTANA, M.; ASAEDA, T.; MANATUNGE, J.; ABLIMIT, A. Colonisation and growth of epiphytic algal communities on *Potamogeton perfoliatus* under two different light regimes. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v.38, p.585-594, 2004.

SUZUKI, M. S. **Mudanças na estrutura e sucessão das comunidades fitoplanctônicas e perifíticas da lagoa do Infernã (SP), causadas pelo processo de enriquecimento artificial**. 1991. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1991.

TEDESCO, C. D. **Variação especial e sazonal de microalgas perifíticas em substrato artificial na margem nordeste da lagoa Caconde, Osório, Rio Grande do Sul**. 1995. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TER-BRAAK, C. J. F. Canonical Correspondence Analyses: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analyses. **Ecology**, v.67, n.5, p.1167-1179, 1986.

TONETTO, A. F. **Efeitos da irradiância e da composição espectral da luz sobre o estabelecimento e desenvolvimento de comunidades de macroalgas lólicas em substratos artificiais**. 2010. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, 2010.

UEHLINGER, V. Étude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. **Arch. Sci.**, v. 17, n. 2, p. 121-123. 1964.

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommung der quantitativen phytoplankton: methodik. **Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.**, v. 9, p. 1-38. 1958.

Van den HOECK, C.; MANN, D.G.; JAHNS, H. M. **Algae: an introduction to phycology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 623p.

VALDERRAMA, JC. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. **Marine Chemistry**, v. 10, p. 109-122.

Van DIJK, G. M. Dynamics and attenuation characteristics of periphyton upon artificial substratum under various light conditions and some additional observations on periphyton upon *Potamogeton pectinialis* L. **Hydrobiologia**, v.252, p.143-161, 1993.

VARGAS, A. N. **Variabilidade diurna do oxigênio dissolvido em um lago eutrófico raso e interações com o ambiente físico-químico**. 2005 55p. Monografia (Curso de Oceanografia), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

VERCELLINO, I. S. **Sucessão da comunidade de algas perifíticas em dois reservatórios do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo: influência do estado trófico e período climatológico.** 2001. 176 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

VERCELLINO, I. S. **Respostas do perifíton aos pulsos de enriquecimento em níveis crescentes de fósforo e nitrogênio em represa tropical mesotrófica (lago das Ninféias, São Paulo).** 2007. 106 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

VERMAAT, J. E. Periphyton dynamics and influencing factors. In: AZIM, M. E.; VERDEGEN, M. C. J.; van DAM, A. A.; BEVERIDGE, M. C. M. [Eds.] **Periphyton: Ecology, Exploitation and Management.** Cabi Publishing, Wallingford, UK. 2005. p.35–50.

WATANABE, T. **Étude de la relation entre le periphyton et la qualité chimique de l'eau des rivières: utilisation de bioessais "in situ" (substrats artificiels) pour caractériser l'état de pollution des eaux.** 1985. 127p. Tese (Doutorado) – Universtté Paul Sabatier, Toulouse, 1985.

WETZEL, R. G. Opening remarks. In: WETZEL, R. G. (Ed.). **Periphyton of freshwater ecosystems.** The Hague: Dr. W. Junk Publishers, 1983. p. 339-346.

_____. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 24, p. 6-24, 1990.

_____. Wetland and littoral interfaces of lakes: productivity and nutrient regulation in the Lawrence lake ecosystem. In: R. R. Sharitz; J. W. Gibbons (Eds.). **Freshwater wetlands and wildlife**, DOE Symposium Series n. 61: 283 - 302. 1989.

_____. **Limnology: Lake and River Ecosystems**, 3rd ed. Academic Press, San Diego, California, 2001. 850 p.

ZORZAL, S. **Avaliação da herbivoria sobre a estrutura e dinâmica da comunidade perifítica em tanques de piscicultura, Viana, ES.** 2010. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

ZORZAL, S. **Ecofisiologia de algas perifíticas em uma lagoa costeira com múltiplos usos.** Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, (em prep.).

6 RESULTADOS

Os resultados obtidos no presente estudo possibilitaram a elaboração de dois artigos científicos:

- **Artigo 1:** Sucessão da comunidade de algas perifíticas sob diferentes intensidades de luz em uma lagoa artificial tropical (Espírito Santo, Brasil), a ser submetido para publicação no periódico *Journal of Tropical Ecology* (ISSN 0266-4674);
- **Artigo 2:** Efeitos de diferentes níveis de sombreamento sobre a biomassa perifítica ao longo do processo sucessional em uma lagoa artificial tropical (Espírito Santo, Brasil), a ser submetido para publicação no periódico *Hydrobiologia* (ISSN 0018-8158).

Para cada artigo, a formatação seguiu as normas de publicação exigidas pelos periódicos (ANEXOS). Os manuscritos serão submetidos aos respectivos periódicos após tradução para língua inglesa.

Sucessão da comunidade de algas perifíticas sob diferentes intensidades de luz em uma lagoa artificial tropical (Espírito Santo, Brasil)

Palavras-chave: densidade, diversidade, equitabilidade, estrutura da comunidade, lagoa tropical, luz, perifíton, riqueza, substrato artificial, sucessão

Adriano Goldner Costa¹

Valéria de Oliveira Fernandes²

¹ Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (PPGBV), Centro de Ciências Humanas e Naturais (CCHN), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), *Campus* Universitário Almor Queiroz de Araújo, Av. Fernando Ferrari, s/n, CEP 29060-973, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

E-mail: adrianogoldner@yahoo.com.br

² Professora do Departamento de Ciências Biológicas/CCHN/UFES. Av. Fernando Ferrari, s/n, CEP 29060-973, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

E-mail: valeriaes@uol.com.br

RESUMO

O estudo avaliou as respostas estruturais da comunidade de algas perifíticas *in situ* no decorrer da sucessão sob diferentes intensidades luminosas em uma lagoa artificial tropical rasa no estado do Espírito Santo (Brasil). Foram estabelecidos três tratamentos: Controle (100% da radiação incidente); Tratamento 30% (30% de sombreamento) e Tratamento 50% (50% de sombreamento). Lâminas de vidro foram utilizadas para a colonização das algas perifíticas. Foram realizadas sete amostragens, com intervalos de dois a sete dias, durante 29 dias de exposição do substrato. Foram registrados 54 táxons de algas com predomínio qualitativo e quantitativo de clorofíceas, cianobactérias e diatomáceas. O padrão sucessional quanto à riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade foi semelhante entre tratamentos, sendo influenciado principalmente por fatores autogênicos. Diferenças significativas ocorreram nos estágios intermediários e finais, quando a riqueza e a densidade total foram menores sob condições mais sombreadas. A diversidade e equitabilidade não apresentaram respostas sensíveis aos tratamentos. Clorofíceas (principalmente *Tetraedron minimum*) e diatomáceas (principalmente *Nitzschia palea*) apresentaram nítida redução na densidade sob maior sombreamento. Inversamente, cianobactérias como *Merismopedia insignis* e *Heteroleibleinia* sp. se desenvolveram melhor sob tais condições. Esses resultados evidenciam a importante função da luz como fator controlador da estrutura da comunidade de algas perifíticas em sistemas lênticos tropicais.

INTRODUÇÃO

O processo de mudança da estrutura da comunidade perifítica ao longo do tempo é denominado sucessão e, segundo Odum (1983), resulta da modificação do ambiente físico pela própria comunidade, bem como de interações de competição e coexistência entre as populações, embora os fatores abióticos possam determinar o padrão e a velocidade com que ela aconteça. Segundo Stevenson (1996), por meio do estudo da dinâmica sucessional é possível conhecer o pico de biomassa, o tempo decorrente para que este aconteça e as alterações na composição taxonômica, as quais dependem das estratégias adaptativas de cada espécie.

A maioria dos estudos relacionados à colonização de microalgas em substratos artificiais em ambientes de água doce têm sido focados nas diatomáceas (Hoagland *et al.* 1982, Kort & Blinn 1983, Roemer *et al.* 1984), sendo limitadas as pesquisas que representam todos os grupos algais. Além disso, Sekar *et al.* (2004) salientam que grande parte dos estudos de sucessão têm sido realizados em sistemas lóticos, onde o movimento da água influencia a colonização. Estudos relacionados a ecossistemas lênticos são escassos. No Brasil, as investigações sobre colonização e sucessão da comunidade de algas perifíticas em substratos artificiais intensificaram-se principalmente a partir dos anos 90 (Cerrão *et al.* 1990, França *et al.* 2009, Vercellino & Bicudo 2006).

A luz tem sido descrita como um dos principais fatores controladores da estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas no que diz respeito à biomassa (Rier *et al.* 2006, Roberts *et al.* 2004, Steinman *et al.* 1989, Steinman & McIntire 1987), produtividade (Bott *et al.* 1985, King & Cummins 1989, Rier *et al.* 2006, Roberts *et al.* 2004), e composição taxonômica (Lyford & Gregory 1975, Shortreed & Stockner 1983, Steinman & McIntire 1987, Roberts *et al.* 2004, Sultana *et al.* 2004). Devido à luz exercer influência direta na atividade fotossintética, variações ambientais na sua quantidade e qualidade afetam potencialmente a fisiologia, crescimento populacional e estrutura da comunidade das algas perifíticas (Hill 1996).

Em ecossistemas lênticos, a entrada de luz no sistema é atenuada pela vegetação adjacente e pelas partes emersas de macrófitas aquáticas, provocando diferentes níveis de sombreamento, principalmente na região litorânea. Ao penetrar na coluna d'água, a

radiação é submetida a profundas alterações, tanto na sua intensidade quanto na qualidade espectral, as quais dependem de vários fatores, destacando-se a concentração de material dissolvido e a concentração de material particulado, incluindo o fitoplâncton (Hill 1996, Lowe 1996). Estudos em ambientes aquáticos rasos têm demonstrado que a ressuspensão do sedimento por ventos aumenta a turbidez, diminuindo significativamente a penetração da irradiância na coluna d'água (Klarer & Millie 1992). Em situações de relativa abundância de nutrientes, a proliferação do fitoplâncton pode sombrear o perifíton e submetê-lo a uma limitação de luz maior do que a de nutrientes (Hansson 1992). Além desses fatores, a luz é fortemente atenuada ao penetrar na própria matriz perifítica devido ao sombreamento causado pelas diferentes camadas do biofilme, refletindo em mudanças na estrutura e dinâmica da comunidade (Losee & Wetzel 1983).

Apesar do importante papel da luz na fotossíntese e no crescimento das algas, ainda são poucos os estudos que têm procurado investigar as respostas da comunidade algal quando submetida a diferentes condições de luminosidade (Hill *et al.* 1995, Rier *et al.* 2006, Roberts *et al.* 2004), principalmente se comparados ao grande número de publicações sobre os efeitos dos nutrientes. Além disso, a maioria dos trabalhos tem sido conduzida em sistemas lóticos (Hill *et al.* 1995, Rier *et al.* 2006, Roberts *et al.* 2004). Em ambientes lênticos, as investigações têm apontado a luz como uma importante variável afetando a composição da comunidade perifítica através de gradientes de profundidade (Borduqui *et al.* 2008, Hoagland & Peterson 1990, Hudon & Bourget 1983). Porém, *in situ*, curvas de luz e temperatura mostram forte correlação ao longo da coluna d'água, dificultando a compreensão dos efeitos isolados de uma ou outra variável. Lowe (1996) salienta que experimentos *in situ* em que a luz foi quantitativamente manipulada em habitats lênticos, mantendo as outras variáveis constantes, são raros (Hudon & Bourget 1983, Marks & Lowe 1993, van Dijk 1993).

Experimentos *in situ* podem contribuir na distinção dos efeitos da luz sobre parâmetros ecológicos importantes como biomassa, produtividade e composição taxonômica da comunidade (Hill 1996). Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar as respostas estruturais da comunidade de algas perifíticas *in situ* no decorrer do processo de colonização e sucessão sob diferentes níveis de intensidade luminosa em uma lagoa artificial tropical rasa no estado do Espírito Santo (Brasil). Este estudo

reveste-se de fundamental importância, pois visa contribuir com o escasso conhecimento sobre a função da luz como fator controlador da estrutura e diversidade desta comunidade em sistemas lênticos tropicais.

ÁREA DE ESTUDO

A lagoa da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) (20° 16' 41'' S e 40° 18' 10'' W) esta localizada no *Campus* Universitário Alaor Queiroz de Araújo, Vitória, ES, litoral Sudeste do Brasil (Figura 1). Apresenta área de 1,4 ha, volume de $1,7 \times 10^6$ m³ e profundidade média de 1,2 m. Trata-se de um ambiente artificial criado para fins de harmonia paisagística em 1969, desde então submetido ao lançamento de efluentes domésticos *in natura* provenientes de edificações localizadas no próprio *Campus*. Nos últimos anos tem sido mantida por lençol freático e precipitação pluviométrica, exceto em períodos de seca pronunciada, quando então é reabastecida com água bombeada do sistema estuarino Baía de Vitória/Canal da Passagem, localizado a oeste do *Campus* universitário (Pereira & Loureiro-Fernandes 1999).

O clima predominante no Espírito Santo é o tropical úmido, com média anual da temperatura de 23° C e da precipitação de 1.400 mm. Em Vitória, onde se situa a lagoa da UFES, a temperatura média mensal máxima e mínima é de 30,4° C e 24° C, respectivamente (Martins & Fernandes 2006). A região apresenta pequena redução da pluviosidade nos meses de maio, junho, julho e agosto com ausência de estação fria propriamente dita. Os ventos de maior frequência e intensidade são provenientes do quadrante nordeste, seguindo-se dos que sopram de sudoeste, de norte e de leste.

MÉTODOS

Estação amostral e delineamento experimental

Para realização do estudo foi determinada uma estação amostral próxima a região central da lagoa da UFES (Figura 1), onde foi instalada uma estrutura experimental constando de nove unidades experimentais, cada uma constituída por um suporte de borracha circular onde foram encaixadas 50 lâminas de vidro (7,6 x 2,6 cm) que serviram de substrato para a colonização do perifíton. Os suportes foram submersos

a 20 cm de profundidade e sustentados por flutuadores, mantendo-se imóveis na estação amostral por estarem presos, por meio de cordas, à âncoras no sedimento.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, contando com três tratamentos em triplicata: Controle (100% da radiação incidente); Tratamento 30% (atenuação de 30% da radiação incidente) e Tratamento 50% (atenuação de 50% da radiação incidente), conforme a Figura 2. A redução das intensidades luminosas para os Tratamentos 30% e 50% foi obtida por meio da aplicação de telas de polietileno com diferentes níveis de sombreamento (30% e 50%, respectivamente) sobre as unidades experimentais. *In situ*, foram registrados junto a cada unidade experimental o valor da radiação incidente e da radiação subaquática, com luxímetro portátil Clauvin Arnoux CA810, para determinar a porcentagem da radiação incidente que chega à subsuperfície (20 cm) de cada tratamento.

Amostragem e análises dos dados

O experimento foi implantado no dia 30 de setembro de 2009 e as amostragens foram realizadas nos dias 02, 04, 07, 11, 16, 22, e 29 de outubro de 2009, correspondendo aos 2º, 4º, 7º, 11º, 16º, 22º e 29º dias de colonização da comunidade periférica.

As variáveis limnológicas abióticas foram medidas em triplicata (n=3) a 20 cm da subsuperfície da coluna d'água em três pontos próximos às unidades experimentais. Em cada amostragem foram determinados: temperatura do ar (termômetro de bulbo), sólidos totais suspensos (APHA 1992), turbidez (turbidímetro Alfakit Plus V1.25), pH (potenciômetro digital portátil Alfakit At 300), alcalinidade (Carmouze 1994), profundidade (profundímetro Speed Tech SM-5), transparência da água e zona eufótica (disco de Secchi), oxigênio dissolvido, temperatura da água, condutividade elétrica e salinidade (medidor multiparâmetros YSI 85), clorofila *a* da água (Lorenzen 1967), nitrogênio amoniacal (Grasshoff *et al.* 1983), nitrito (Golterman *et al.* 1978), nitrato (Mackereth *et al.* 1978), ortofosfato (Cromatógrafo de íons 861 Advanced Compact IC Metrohn), fósforo total (Valderrama 1981) e ortossilicato (Aminot e Chaussepied 1983).

Os dados climatológicos diários para o município de Vitória foram obtidos no Serviço de Informações Agrometeorológicas (SIAG) do Instituto Capixaba de Pesquisa,

Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper). As variáveis analisadas foram: temperatura do ar, precipitação pluviométrica, velocidade do vento e radiação solar.

As variáveis bióticas foram analisadas em triplicata ($n=3$) e para compor cada amostra foram retiradas, por meio de sorteio, cinco lâminas de vidro de cada unidade experimental, as quais foram acondicionadas em frascos de polietileno contendo água da lagoa previamente filtrada (filtros de fibra de vidro GF-1). O material perifítico foi removido do substrato por meio de raspagem com escova de cerdas macias e jatos de água da lagoa filtrada e a área superficial dos substratos foi calculada com um paquímetro. Para a análise qualitativa, as amostras foram fixadas com solução formalina 4% e analisadas em microscópio óptico Olympus CX40 e BX41, com câmara clara, ocular de medição e máquina fotográfica; os táxons foram medidos, esquematizados e identificados com bibliografia especializada. Para a análise quantitativa as amostras foram fixadas com lugol acético 5% e analisadas pelo método de sedimentação em câmaras (Utermöhl 1958), com contagem em campos aleatórios (Uehlinger 1964) utilizando microscópio invertido Nikon Eclipse TS 100 (x400). O limite de contagem foi estabelecido com curva de rarefação de espécies (Bicudo, 1990) e até que a espécie mais comum atingisse no mínimo 100 indivíduos (Lund *et al.* 1958). Os resultados da análise quantitativa do perifíton foram expressos em indivíduos.cm⁻² e calculados de acordo com APHA (1992). A estrutura da comunidade foi avaliada com base nos seguintes atributos: riqueza de táxons, densidade total, abundância e dominância (Lobo & Leigton 1986), diversidade (Shannon & Weaver 1963) e equitabilidade (Pielou 1984).

Análises estatísticas

Os dados bióticos e abióticos foram inicialmente avaliados com o uso da estatística descritiva, analisando-se a dispersão dos dados em torno da média, através do programa STATISTICA 7.0. A análise de variância ANOVA one-way ($p < 0,05$) foi utilizada para a comparação das variáveis ao longo da sucessão e entre tratamentos. Para comparação de médias e determinação da diferença mínima significativa entre as variáveis foi realizado o teste de comparações múltiplas de Tukey ($p < 0,05$), através do programa ASSISTAT 7.5 beta. Para avaliação conjunta dos dados abióticos, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP) e para ordenação das variáveis

bióticas em função das abióticas foi realizada a Análise de Correspondência Canônica (ACC). Para a construção das matrizes biológicas foram considerados somente as densidades dos táxons abundantes. A ACP e ACC foram realizadas através do programa PC-ORD versão 4.14 para Windows (McCune & Mefford 1999).

RESULTADOS

Variáveis climatológicas e limnológicas abióticas

No período de amostragem (outubro de 2009), houve variação das condições climáticas locais, sendo que os maiores índices pluviométricos foram registrados nos últimos dias do experimento (Figura 3). De modo geral, os valores de temperatura do ar acompanharam a intensidade da radiação solar, a qual sofreu redução dos valores nos dias 22 e 29 de outubro, sendo este último marcado pela maior precipitação pluviométrica diária acumulada (94 mm) e menor temperatura média do ar (22,67°C), dentre os dias amostrados (Figura 3). Tais mudanças foram responsáveis pela grande variação observada para a maioria das variáveis abióticas no decorrer do processo sucessional (Tabela 1), mesmo este sendo em curto período de tempo. A análise de variância (ANOVA one-way) e o teste de Tukey demonstraram que, com exceção do ortofosfato, as demais variáveis abióticas variaram significativamente ($p < 0,05$) ao longo do período estudado (Tabela 1).

A análise de componentes principais (ACP) das características abióticas resumiu 75,0% da variabilidade conjunta dos dados no primeiro plano fatorial (Figura 4). Praticamente toda a variação foi explicada pelo primeiro eixo, onde houve separação entre os dias de sucessão para todos os três tratamentos. As amostragens referentes aos dois últimos dias sucessionais (22 e 29) posicionaram-se à esquerda do eixo, associando-se, principalmente, com os maiores valores de pluviosidade, profundidade, zona eufótica, formas de nitrogênio dissolvido (nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal) e fósforo total. Em contrapartida, as amostragens realizadas até o 16º dia de colonização associaram-se positivamente à radiação solar incidente, temperatura do ar, salinidade, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido. Tais variáveis apresentaram correlações com o eixo 1 da ACP $\geq 0,7$ (Tabela 2). Pelo eixo 2, observou-se a formação de um grupo mais homogêneo envolvendo as três primeiras amostragens (dias 2, 4 e 7),

associando-se aos maiores valores de sólidos totais em suspensão e turbidez e o isolamento das amostragens do dia 22, que associaram-se positivamente à transparência da água e alcalinidade (Figura 4 e Tabela 2).

Intensidades luminosas nos tratamentos

As porcentagens da radiação incidente que atingiam a subsuperfície (20 cm) da coluna d'água, onde encontravam-se os substratos colonizados pelo perifíton, apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (ANOVA: $F = 21,99$; $p < 0,001$). Porém, na maioria das amostragens somente foi possível distinguir o Controle dos demais (teste Tukey com $p < 0,05$), conforme mostrado na Figura 5.

Estrutura e dinâmica sucessional da comunidade de algas perifíticas

A comunidade de algas perifíticas na lagoa da UFES, considerando os três tratamentos e todo processo sucessional, esteve composta por 54 táxons, distribuídos em oito Classes algais, sendo Chlorophyceae, Cyanophyceae, Bacillariophyceae e Euglenophyceae as mais representativas em termos de riqueza, conforme mostrado na Figura 6. As Classes Zygnemaphyceae, Dinophyceae, Oedogoniophyceae e Xanthophyceae foram menos representativas, contribuindo com menos de 5% para a riqueza total de táxons.

Com relação às formas de vida das algas perifíticas registradas ao longo de toda a sucessão e em todos os tratamentos, houve predomínio das unicelulares, com 24 indivíduos (44,4%), seguidas de 23 coloniais/cenobiais (42,6%) e sete filamentosas (13,0%).

Considerando o processo de colonização e sucessão da comunidade, pode-se observar um padrão semelhante entre os tratamentos (Figura 7), ocorrendo aumento do número de táxons até o 7º dia e posterior decréscimo nas fases intermediárias, apresentando tendência à estabilidade nos últimos dias. A ANOVA one-way e o teste de Tukey detectaram riqueza de táxons significativamente maior no Controle (Ausência de sombreamento) em relação ao Tratamento 50% (50% de sombreamento) no 16º dia de sucessão ($F = 8,36$; $p = 0,018$), não sendo observadas outras diferenças significativas nos demais dias (Figura 7).

A densidade total foi crescente no decorrer da sucessão e atingiu valor máximo no 22º dia, apresentando decréscimo na última amostragem (29º dia), conforme mostra a Figura 8. O valor médio do pico de densidade registrado para o Controle, Tratamento 30% e Tratamento 50%, foi de 682,41; 603,29 e 514,33 x 10³.ind.cm⁻², respectivamente. A ANOVA e o teste de Tukey indicaram diferenças significativas entre o Controle e o Tratamento 50% nos dias 16 (F = 5,60; p = 0,042) e 22 (F = 9,00; p = 0,016), sendo as maiores densidades registradas para o Controle.

O desenvolvimento das Classes de algas ao longo do processo sucessional seguiu um padrão de contribuição semelhante entre os diferentes tratamentos de luz, sendo determinado principalmente por clorofíceas, diatomáceas e cianobactérias, porém apresentaram diferenças significativas em termos de valores absolutos, como pode ser evidenciado na Figura 9. Chlorophyceae foi a classe que mais contribuiu nos estágios iniciais de sucessão (até o 7º dia), sendo substituída por Bacillariophyceae dos estágios intermediários até o 22º dia, a partir do qual Cyanophyceae tornou-se predominante (29º dia).

Em todos os tratamentos, diatomáceas e clorofíceas atingiram seu pico de densidade no 22º dia de sucessão, enquanto as cianobactérias apresentaram maior densidade no último dia do experimento (Figura 9). A partir da ANOVA e teste de Tukey, pode-se identificar diferença significativa entre os três tratamentos com relação à densidade de clorofíceas no dia 22 (F = 44,03; p = 0,000), com maiores valores para o Controle, seguido do Tratamento 30% e do Tratamento 50%, respectivamente, indicando certa preferência desse grupo por ambientes mais iluminados. As diatomáceas apresentaram densidades significativamente menores no Tratamento 50% em relação aos demais, tanto no 16º dia (F = 7,30; p = 0,025), quanto no 22º dia (F = 8,42; p = 0,018), indicando baixa tolerância destas algas ao sombreamento.

Em todo o período estudado não houve registro de táxons dominantes, no entanto, 11 foram abundantes em pelo menos algum momento da sucessão (Figura 10). *Tetraedron minimum* (A.Braun) Hansgirg e *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith foram abundantes durante todas as fases nos três tratamentos. De modo geral, *Aphanocapsa* cf. *grevillei* (Berkeley) Rabenhorst, *Merismopedia tenuissima* Lemmermann e *Koliella longiseta* (Vischer) Hindák foram abundantes nos estágios iniciais de sucessão; *Tetraedron regulare* Kützing, nos estágios iniciais e intermediários; *Gomphonema*

gracile C.G. Ehrenberg, somente nas fases intermediárias; *Merismopedia insignis* Shkorbatov, nos estágios intermediários e finais; e *Heteroleibleinia* sp., *Achnantidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki e *Chaetophora* sp., nas fases finais da sucessão (Figura 10).

A ANOVA e teste de Tukey revelaram que *T. minimum* ($F = 13,39$; $p = 0,006$) e *N. palea* ($F = 13,42$; $p = 0,006$) apresentaram densidades significativamente menores no Tratamento 50% em relação aos demais tratamentos no 22º dia de colonização, denotando uma possível limitação por luz. Já no 2º dia de colonização, o Tratamento 50% apresentou densidade significativamente maior de *M. insignis* em relação ao Controle e ao Tratamento 30% ($F = 9,43$; $p = 0,014$), além disso, *Heteroleibleinia* sp. também foi significativamente maior nesse mesmo Tratamento em relação ao Controle no dia 7 ($F = 7,97$; $p = 0,020$), e em relação ao Controle e ao Tratamento 30% no dia 11 ($F = 15,72$; $p = 0,004$), evidenciando uma possível adaptação ao ambiente mais sombreado nas fases iniciais da colonização por parte destas cianobactérias. De forma diferente, *G. gracile* (diatomácea unicelular) apresentou densidade significativamente maior no Controle, em relação ao Tratamento 50% no 4º dia ($F = 4,824$; $p = 0,056$), e em relação ao Tratamento 30% no 22º dia de colonização ($F = 5,40$; $p = 0,046$).

A ordenação pela ACC, realizada a partir de oito variáveis abióticas e densidade de onze táxons, resumiu 87,8% da variabilidade total dos dados em seus dois primeiros eixos (Figura 11 e Tabela 3). As correlações espécie-ambiente para os eixos 1 e 2 indicaram forte relação entre as espécies e as variáveis ambientais utilizadas na ordenação e o teste Monte Carlo indicou baixa probabilidade da ordenação ter sido ao acaso (Tabela 3). No eixo 1 ocorreu separação dos dias sucessionais para cada tratamento, representando a escala temporal de estudo. Apesar do curto prazo, ocorreram variações climáticas ao longo do mês de outubro que devem ter influenciado o processo sucessional. Considerando as relações espécie-ambiente (correlações “intra-set”), as variáveis pH, oxigênio dissolvido e ortossilicato associaram-se aos dias sucessionais de menor ou nenhuma precipitação (2º ao 16º) e os valores mais elevados de nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e fósforo total se associaram aos dias sucessionais de maior precipitação (22º e 29º) (Figura 11 e Tabela 4). Os táxons mais correlacionados com esse eixo foram, na ordem, *Heteroleibleinia* sp., *Chaetophora* sp., *Achnantidium minutissimum* e *Merismopedia insignis*, que apresentaram correlação \geq

0,65 com o eixo (Tabela 5). Tais espécies associaram-se aos estágios finais da sucessão (dias chuvosos), e, portanto, aos maiores valores das formas nitrogenadas e do fósforo total e a menores valores de pH, oxigênio dissolvido e ortossilicato. O eixo 2 foi menos explicativo e as correlações “intra-set” foram baixas.

Os valores dos índices de diversidade e equitabilidade são mostrados na Figura 12. De modo geral, a equitabilidade aumentou ao longo da sucessão em todos os três tratamentos, atingindo valor máximo nas duas últimas amostragens. Esta variável só apresentou diferença significativa entre tratamentos no 2º dia de sucessão ($F = 6,12$; $p = 0,036$), com valor do Tratamento 50% menor que do Tratamento 30%. Os dados de diversidade apresentaram pequenas oscilações ao longo do período estudado, sempre com valores bem acima de 2,5 bits.ind⁻¹ (Figura 12). No 11º dia, a diversidade no Controle foi significativamente menor que nos demais tratamentos ($F = 9,25$; $p = 0,015$) e no 22º dia, foi significativamente menor no Tratamento 30% em relação aos outros ($F = 11,52$; $p = 0,009$).

DISCUSSÃO

As lagoas costeiras têm sua dinâmica intimamente ligada aos fatores climáticos, como temperatura, ventos, radiação solar e precipitação que são decisivos para o estabelecimento do padrão de funcionamento destes ecossistemas (Kjerfve 1994). Por ser um ambiente artificial raso e com grande espelho d'água, a lagoa da UFES está sujeita à ação de ventos freqüentes e constantes circulações da água, fatores estes que, aliados à disponibilidade de nutrientes, devem interferir no padrão de substituição das espécies perifíticas no decorrer do tempo, influenciando assim a estrutura sucessional da comunidade.

De modo geral, a estação amostral apresentou pequena profundidade, águas alcalinas, elevados valores de temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, além de baixa transparência. Apesar disso, a ACP das variáveis abióticas mostrou nítida separação entre as amostragens iniciais e intermediárias da sucessão (2º ao 16º dia), que apresentaram maiores valores de oxigênio dissolvido, pH, salinidade, condutividade elétrica, e as amostragens finais (22º ao 29º dia), que apresentaram maiores valores de profundidade, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e fósforo total. Esta heterogeneidade

temporal em curto prazo possivelmente foi influenciada pelo regime de chuvas na região durante o mês de outubro que promoveu modificações nos fatores abióticos, os quais apresentam relevante influência na variação temporal da comunidade perifítica, conforme evidenciado pela ACC.

Apesar das porcentagens de radiação incidente registradas em campo nem sempre terem apresentado diferenças significativas entre os tratamentos sombreados, os efeitos dos mesmos sobre a estrutura da comunidade de algas perifíticas ao longo do processo sucessional foram significativos. No entanto, deve-se salientar que a maioria dos resultados envolvendo respostas às diferentes quantidades de luz só foi notória entre o Controle (ausência de sombreamento) e os Tratamentos 30% e 50% (atenuação de 30% e 50% da radiação incidente, respectivamente), sem distinção significativa entre os dois últimos.

A comunidade de algas perifíticas dos três tratamentos realizados na lagoa da UFES, considerando todo período sucessional, esteve composta por 54 táxons, com predomínio das clorofíceas, cianobactérias e diatomáceas. Martins e Fernandes (2007), estudando a comunidade em substrato natural na região litorânea dessa mesma lagoa, também encontraram predomínio qualitativo destes três grupos algais. Porém a riqueza total foi menor (36 táxons). Tal diferença pode estar relacionada à possível seletividade do substrato natural (macrófita) quando comparado ao artificial que foi empregado neste estudo (lâminas de vidro), além da localização diferenciada do experimento (região limnética). Outros estudos realizados em lagoas costeiras tropicais com substratos naturais têm registrado valores de riqueza total maiores que os observados para a lagoa da UFES (Fernandes, 1998; Cavati & Fernandes, 2008), evidenciando sua reduzida biodiversidade de algas, inclusive no fitoplâncton (34 táxons), como reportado por Martins e Fernandes (2006).

O aumento da riqueza de táxons observado até o 7º dia de exposição do substrato em todos os tratamentos possivelmente está relacionado ao “pool” de espécies presentes no próprio ambiente (Rodrigues & Bicudo 2004). Particularmente durante os estágios iniciais de colonização, novas espécies instalam-se com sucesso e a riqueza aumenta rapidamente, ao passo que a acumulação de perifíton durante os estágios mais avançados é predominantemente devido ao crescimento e expansão dos táxons já estabelecidos (Hillebrand & Sommer 2000, Rodriguez 1987). O decréscimo do número

de táxons a partir do 7º dia, com posterior estabilização, pode estar relacionado ao aumento da competição por recursos (luz, nutrientes e espaço) na matriz perifítica devido o aumento da densidade de organismos. De acordo com Ács e Kiss (1993) durante a sucessão ocorrem inúmeras alterações ecológicas e a estrutura da comunidade varia de acordo com as taxas de imigração, emigração, reprodução, mortalidade e herbivoria. A diferença de riqueza observada entre o Controle e o Tratamento 50% no 16º dia de colonização, provavelmente esteve relacionada ao efeito do sombreamento, limitando a fotossíntese e, conseqüentemente, se tornando um ambiente mais hostil para a chegada e/ou permanência das espécies.

A sucessão da comunidade perifítica pode ser descrita como um processo cíclico, com uma fase inicial, na qual a densidade aumenta rapidamente, uma fase intermediária, com pico de densidade, na qual a comunidade atinge seu clímax, e uma última fase, com diminuição da densidade ou retrocesso sucessional (Ács & Kiss 1993). Na lagoa da UFES, a densidade total de algas seguiu esse modelo, atingindo pico máximo no 22º dia de colonização em todos os tratamentos, chegando até o início da última fase descrita acima. Segundo Pompêo e Moschini-Carlos (2003), o tempo de exposição do substrato para que se alcance uma comunidade madura é extremamente variado, dependendo das condições do meio e da sazonalidade, mas, de maneira geral, um período estimado em quatro semanas é suficiente para a estabilização do perifíton, corroborando com os resultados deste estudo.

Além dos processos inerentes à própria sucessão, os maiores valores de densidade perifítica registrados nos estágios finais do experimento provavelmente estiveram relacionando com o aumento da disponibilidade de nitrogênio e fósforo no 22º e 29º dias de colonização, conforme evidenciado pela ACP. Nestes dias, a elevada precipitação deve ter sido o principal fator contribuinte para o aumento dos nutrientes devido ao carreamento de material orgânico adjacente à lagoa e ressuspensão do sedimento orgânico. Apesar disso, a ação da chuva também pode ter contribuído com processos de perdas de biomassa devido ao distúrbio, justificando o fato de não ter ocorrido aumento significativo de densidade entre os dois últimos dias de colonização.

Com relação aos diferentes tratamentos, a densidade total de algas foi similar até o 11º dia de colonização, a partir do qual se tornou significativamente menor no Tratamento 50% (16º e 22º dias), onde a taxa fotossintética e reprodutiva das algas

provavelmente foi limitada pela menor quantidade de luz disponível. Sultana *et al.* (2004), avaliando o desenvolvimento das algas epifíticas sob dois diferentes regimes de luz, registraram que a densidade algal aumenta com o tempo em ambas condições. Porém, é significativamente maior sob condições de alta intensidade luminosa do que sob baixa intensidade, corroborando com os resultados encontrados neste estudo. É importante ressaltar que o elevado índice pluviométrico registrado no 29º dia de sucessão pode ter contribuído para que as densidades entre os tratamentos não apresentassem diferenças significativas neste dia, já que as telas de sombreamento sobre os Tratamentos 30% e 50% podem ter gerado certa proteção mecânica contra a ação da chuva, reduzindo o efeito do distúrbio, o qual certamente foi maior sobre o perifíton do Controle (desprovido de tela).

O desenvolvimento da comunidade perifítica seguiu um padrão sucessional semelhante em todos os tratamentos, sendo que as clorofíceas apresentaram maior contribuição nos estágios iniciais de sucessão, sendo substituídas pelas diatomáceas nos estágios intermediários, a partir do qual as cianobactérias tornaram-se predominantes. De acordo com Lowe (1996), estes são os grupos algais mais representativos no perifíton de ecossistemas dulcícolas. Sekar *et al.* (2004), estudando os estágios iniciais da sucessão do biofilme perifítico em um sistema lêntico na costa leste da Índia, também encontraram essa seqüência de Classes, porém num intervalo de tempo menor (15 dias). Esses autores dividiram a sucessão em três fases distintas: a primeira (1-4 dias) dominada por algas verdes, a segunda (5-7 dias) por diatomáceas e a terceira (10-15 dias) por cianobactérias.

As clorofíceas foram representadas, em termos de densidade, principalmente por *Tetraedron minimum*, *T. regulare* e *Koliella longiseta*, algas unicelulares de pequeno tamanho, tipicamente fitoplanctônicas, abundantes nas fases iniciais da sucessão. Segundo Happey-Wood (1988), células pequenas e com grande relação superfície/volume possuem grande capacidade para absorção de nutrientes dissolvidos e elevada taxa de difusão de gases, além de apresentarem baixa taxa de sedimentação, minimizando as perdas por afundamento. Outros estudos realizados em sistemas lênticos brasileiros também registraram maior contribuição das clorofíceas nos estágios iniciais de sucessão, indicando a importância desse grupo no estabelecimento do

perifíton em substratos artificiais (Rodrigues & Bicudo 2004, Vercellino & Bicudo 2006).

As diatomáceas são consideradas colonizadoras rápidas e eficientes, podendo ocupar os substratos no espaço de um dia a até várias semanas (Stevenson 1996). Neste estudo, elas apresentaram táxons abundantes principalmente nos estágios intermediários e finais da sucessão. A presença de estruturas especializadas, tais como curtos ou longos pedúnculos mucilaginosos (como em *Gomphonema gracile*), produção de matrizes mucilaginosas e colônias em forma de estrela ou ramos, fixadas pela base (como em *Nitzschia palea*), auxilia a adesão dessas algas ao substrato (Cetto *et al.* 2004), conferindo vantagens competitivas em condições mais estressantes, como sob a ação perturbatória de ventos fortes e chuvas.

As cianobactérias são encontradas em vários ambientes, tendo ampla distribuição em águas continentais (Sant'anna *et al.* 2006) e se desenvolvem muito bem em sistemas com elevada concentração de nutrientes, pH de neutro a alcalino, pouca turbulência e elevadas temperaturas, como é o caso da lagoa da UFES. Cianobactérias coloniais tipicamente planctônicas, (*Merismopedia tenuissima*, *Aphanocapsa* cf. *grevillei* e *M. insignis*) foram abundantes em diferentes fases da sucessão do perifíton, provavelmente favorecidas pela presença de densas bainhas mucilagenosas, as quais permitem se associar a superfície dos substratos (Stevenson 1996). *Heteroleibleinia* sp. foi a cianobactéria mais representativa nos estágios finais de sucessão. Trata-se de uma alga filamentosa fixa ao substrato por uma das extremidades por meio da mucilagem que chega a formar um pequeno pedúnculo (Komárek & Anagnostidis 2005), o que a torna uma boa competidora por espaço e confere elevada resistência a distúrbios. A maior turbulência, juntamente com o aumento da competição por recursos, devem ter favorecido o expressivo desenvolvimento dessa alga ao final do experimento.

De maneira geral, a sucessão seguiu o padrão descrito em muitos estudos, iniciando com a chegada de algas unicelulares simples e coloniais, diatomáceas mais complexas (formando rosetas ou possuindo longos pedúnculos) e, finalmente, algas verdes e cianobactérias filamentosas (Peterson e Stenvenson 1990). Com base na densidade dos táxons abundantes, observou-se que a estrutura da comunidade no decorrer da sucessão passou de uma fisionomia mais simples para uma fisionomia mais complexa. A ACC evidenciou, principalmente, o grupo de táxons relacionados ao final

da sucessão, quando maior índice de chuvas ocorreu. Táxons de maior aderência ao substrato como cianobactérias e algas verdes filamentosas (*Heteroleibleinia* sp., e *Chaetophora* sp., respectivamente), bem como diatomáceas diminutas de hábito fixo (*Achnanidium minutissimum*), estiveram relacionadas com essa fase. Hill (1996) comenta que filamentos de algas verdes podem tornar-se mais abundantes sob irradiâncias moderadas devido a sua forma de crescimento que lhes possibilita sobrepor táxons prostrados de diatomáceas e cianobactérias. Tal fato pode ter ocorrido no final da sucessão quando *Chaetophora* sp. apresentou sua maior densidade. Além disso, essa alga pode ter sido favorecida, da mesma forma que *Heteroleibleinia* sp., pela sua maior aderência ao substrato, já que ao final da sucessão a chuva gerou efeito de distúrbio sobre a comunidade.

Apesar de terem apresentado o mesmo padrão sucessional, os tratamentos diferiram em termos absolutos. Durante o pico de densidade das clorofíceas, foi registrada diferença significativa entre os três tratamentos, estando os maiores valores associados às maiores intensidades de luz. Alguns estudos apresentam tendências semelhantes às observadas neste estudo, evidenciando que algas verdes não toleram baixas intensidades luminosas (Langdon 1988, Richardson *et al.* 1983, Steinman & MacIntire 1987), principalmente quando comparadas às cianobactérias e diatomáceas. *Tetraedron minimum*, clorofíceae unicelular abundante durante todo o período sucessional, apresentou menor densidade sob condição de maior sombreamento, refletindo a intolerância do grupo a baixas intensidades de luz.

Apesar da grande capacidade das diatomáceas se aclimatarem à baixas irradiâncias (Rier *et al.* 2006), no presente estudo apresentaram tendência semelhante à observada para o grupo das clorofíceas com menores densidades sob menor disponibilidade de luz. Segundo Tuji (2000), a capacidade de diatomáceas habitando comunidades perifíticas em crescer sob baixa irradiância é largamente espécie-específica e as espécies mais capazes de tal crescimento são aquelas encontradas nos últimos estágios de sucessão. Assim, as diatomáceas registradas neste estudo podem não ter tido tempo suficiente para se adaptar ao maior nível de sombreamento, apresentando baixas densidades sob tais condições. *Nitzschia palea* foi abundante no decorrer de toda a sucessão, porém apresentou nítida redução de densidade sob baixa intensidade

luminosa. De forma semelhante, *Gomphonema gracile*, em estágios intermediários do processo de colonização, apresentou maior densidade sob maior disponibilidade de luz.

A adaptação à condição de sombreamento ou fotoaclimatação foi caracterizada por Hill (1996) por manifestar um aumento da eficiência fotossintética em baixos níveis de luz e menores taxas fotossintéticas em luz saturante, uma mudança funcional que reflete o aumento da quantidade de pigmentos fotossintetizantes e a diminuição das reações de assimilação/fixação do carbono.

Para o grupo das cianobactérias, não foi observado nenhum tipo de preferência diante dos diferentes níveis de intensidade luminosa, revelando fraca influência da irradiância sobre a densidade dessas algas. Borduqui *et al.* (2008), estudando a distribuição vertical do perifíton em reservatório eutrófico raso (lago das Garças, SP), encontraram dominância de Bacillariophyceae na superfície, enquanto Cyanophyceae foi dominante nas demais profundidades durante o período seco, evidenciando que esta classe se desenvolve melhor sob baixa intensidade de luz. Outros trabalhos também têm sugerido que esta Divisão seria mais bem adaptada a menores irradiâncias (Hill 1996, Langdon 1988). Considerando os táxons abundantes de Cyanophyceae registrados no presente estudo, foi possível verificar essa tendência, pois *Merismopedia insignis* se desenvolveu melhor sob maior nível de sombreamento já no início da sucessão, denotando uma possível adaptação à sombra, e *Heteroleibleinia* sp., após uma semana de colonização, apresentou maior densidade sob condições de menor intensidade luminosa.

Apesar das diferenças significativas nas densidades dos táxons abundantes em resposta às diferentes irradiâncias, a composição taxonômica e o padrão de variação dos mesmos foram similares entre os tratamentos. Segundo Thomas *et al.* (2006), a falta de respostas taxonômicas ao sombreamento deve-se à alta plasticidade à irradiância apresentada pela maioria dos táxons (principalmente cianobactérias e diatomáceas), além da possibilidade de responderem mais fortemente às mudanças na qualidade espectral do que na quantidade de radiação. Sultana *et al.* (2004), também registraram uma composição algal similar sob duas condições de luz distintas e argumentaram que tratavam-se de táxons largamente tolerantes à luz e pouco tolerantes à nutrientes, apesar disso as densidades apresentaram diferenças significativas entre as duas condições.

A diversidade de algas perifíticas, de forma geral, pode ser considerada elevada, visto que o valor máximo utilizado para o índice é de 5 bits.ind⁻¹ (Margalef 1983) e que todos valores estiveram acima de 2,5 bits.ind⁻¹. Apesar disso, a tendência esperada de aumento da diversidade com o aumento da organização da comunidade no decorrer da sucessão não foi registrada. Por outro lado, a equitabilidade aumentou ao longo do período sucessional, variando de acordo com a contribuição dos táxons abundantes. Martins e Fernandes (2007) registraram valores semelhantes para essas duas variáveis no mesmo ambiente, relacionando-os com a ausência de táxons dominantes e registro de poucas espécies abundantes. Neste estudo, tanto a diversidade quanto a equitabilidade, foram pouco sensíveis às diferentes condições de luminosidade impostas pelos tratamentos.

Os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciam que a variação da estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas ao longo da sucessão foi decorrente principalmente dos processos autogênicos, os quais determinaram o desenvolvimento da comunidade, da mesma forma, em todos os tratamentos. Entretanto, em termos absolutos, a estrutura da comunidade de algas perifíticas foi sensível às diferentes condições luminosas impostas pelos tratamentos, principalmente com relação à densidade total, densidade de clorofíceas e diatomáceas e de táxons abundantes das principais Classes algais. Apesar disso, não houve modificações na comunidade com relação à composição taxonômica sob diferentes intensidades de luz. Tais resultados contribuem para o escasso conhecimento da função da luz como fator controlador da estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas em sistemas lênticos tropicais.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, e ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da UFES, pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor, e ao Laboratório de Ciências Ambientais da UENF, pelo auxílio nas análises de nutrientes.

LITERATURA CITADA

- ÁCS, E. & KISS, K. T. 1993. Colonization process of diatoms on artificial substrats in the river Danube near Budapest (Hungary). *Hydrobiologia* 269:307-315.
- AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. 1983. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Brest: Centre National pour l'Exploration des Océans, 395 p.
- APHA. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington D. C.
- BICUDO, D. C. 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. *Acta Limnologica Brasiliensia* 3(1):459-475.
- BORDUQUI, M., FERRAGUT, C. & BICUDO, C. E. M. 2008. Chemical composition and taxonomic structure vertical and seasonal variation of periphyton community in a shallow hypereutrophic reservoir (Garças Reservoir, São Paulo, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 20:381-392.
- BOTT, T. L., BROCK, J. T., DUNN, C. S., NAIMAN, R. J., OVINK, R. W. & PETERSON, R. C. 1985. Benthic community metabolism in four temperate stream system: an inter-biome comparison and evaluation of the river continuum concept. *Hydrobiologia* 123:3-45.
- CARMOUZE, J. P. 1994. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. Editora Edgard Blucher/FAPESP, São Paulo, 254pp.
- CAVATI, B. & FERNANDES, V. O. F. 2008. Algas perifíticas em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno – Linhares, Estado do Espírito Santo, Brasil): variação espacial e temporal. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 30(4):439-448.
- CERRAO, G. C., MOSCHINI-CARLOS, V., SANTOS, M. J. & RIGOLIN, O. 1991. Efeito do enriquecimento artificial sobre a biomassa de perifíton em tanques artificiais na represa do Lobo (Broa). *Revista Brasileira de Biologia* 51:71-78.
- CETTO, J. M., LEANDRINI, J. A., FELISBERTO, S.A. & RODRIGUES, L. 2004. Comunidade de algas perifíticas no reservatório de Iraí, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 26(1):1-7.

- FERNANDES, V. O. 1998. Variação temporal e espacial na composição da comunidade perifítica na Lagoa Imboassica, Macaé, RJ.. In: ESTEVES, F. A. (Org.). *Ecologia de Lagoas Costeiras do parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. NUPEN/UFRJ, Rio de Janeiro: 221-236.
- FRANÇA, R. C. S., LOPES, M. R. M. & FERRAGUT, C. 2009. Temporal variation of biomass and status nutrient of periphyton in shallow Amazonian Lake (Rio Branco, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 21(2):175-183.
- GOLTERMAN, H. L., CLYMO, R. S. & OHNSTAD, M. A. M. 1978. *Methods for chemical analysis of freshwater*. (IBP Handbook, n. 8 2nd ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publications. 213 pp.
- GRASSHOFF, K. M., EHRHARDT, K. & KREMLING, K. 1983. *Methods of seawater analysis*. 2. Ed. Basel: Verlag Chermie. 419 p.
- HANSSON, L. A. 1992. Factors regulating periphytic algal biomass. *Limnology & Oceanography*, 33:121-128.
- HAPPEY-WOOD, C. M. 1988. Ecology of freshwater planktonic green algae. In: SANDGREW, C. D. (Ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton.*: Cambridge University Press, Cambridge: 175-226.
- HILL, W. R. 1996. Effects of light. In: STEVENSON, J. R., BOTHWELL, M. L., LOWE, R. L. (Eds.). *Algal ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego: 121-144.
- HILL, W. R., RYON, M. G. & SCHILLING, E. M. 1995. Light limitation in a stream ecosystem: responses by primary producers and consumers. *Ecology* 76(4):1297-1309.
- HILLEBRAND, H. & SOMMER, U. 2000. Diversity of benthic microalgae in response to colonization time and eutrophication. *Aquatic Botany* 67:221-236.
- HOAGLAND, K. D. & PETERSON, C. G. 1990. Effects of light and wave disturbance on vertical zonation of attached microalgae in a large reservoir. *Journal of Phycology* 26:450-457.
- 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.
- HUDON, C. & BOURGET, E. 1983. The effect of light on the vertical structure of epibenthic diatom communities. *Botanica Marina* 26:317-330.

- KING, D. K. & CUMMINS, K. W. 1989. Autotrophic-heterotrophic community metabolism relationship of the woodland stream. *Journal of Freshwater Ecology* 5:205-218.
- KJERFVE, B. 1994. Coastal lagoon processes. In: KJERFVE, B. (Ed.). *Coastal lagoon processes*. Amsterdam: Elsevier Oceanography Series, n.60, 577pp.
- KLARER, D. M. & MILLIE, D. F. 1992. Aquatic macrophytes and algae at Old Woman Creek estuary and other Great Lakes coastal wetlands. *Journal of Great Lakes Research* 18:622-633.
- KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. 2005. Oscillatoriales. In: BÜDEL, B. *et al* (Orgs.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa: Cyanoprokariota*. Stuttgart. Spektrum Akademischer Verlag. v.19, n.2, 759p.
- KORTE, V. L. & BLINN, D. W. 1983. Diatom colonization on artificial substrata in pool and riffle zones studied by light and scanning electron microscopy. *Journal of Phycology* 19:332-341.
- LANGDON, C. 1988. On the causes of interspecific differences in the growth-irradiance relationship for phytoplankton. II. A general review. *Journal of Plankton Research* 10:1291-1312.
- LOBO, E. A. & LEIGHTON, G. 1986. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras y esteros de rios de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marina* 22(1):1-29.
- LOSEE, R. F. & WETZEL, R. G. 1983. Selective light attenuation by the periphyton complex. In: WETZEL, R. G. (Ed.). *Periphyton of freshwater ecosystems*. Dr. W. Junk Publishers, The Hague: 89-96.
- LOWE, R. L. 1996. Periphyton patterns in lakes. In: STEVENSON, J. R., BOTHWELL, M. L., LOWE, R. L. (Eds.). *Algal ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego: 57-76.
- LUND, J. W., KIPLIND, C. & LECREN, E. D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. *Hydrobiologia* 11:143 – 170.
- LYFORD, J. H. & GREGORY, S. V. 1975. The dynamics and structure of periphyton communities in three Cascade Mountain streams. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 19:1610-1616.

- MACKERETH, F. J. H., HERON, J. & TALLING, J. F. 1978. *Water analysis: Some revised methods for limnologists*. Kendall: Titus Wilson & Son Ltd. 117 pp.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Barcelona: Ediciones Omega. 1010 pp.
- MARKS, J. C. & LOWE, R. L. 1993. Interactive effects of nutrient availability and light levels on the periphyton composition of a large oligotrophic lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50:1270-1278.
- MARTINS, F. C. O. & FERNANDES, V. O. 2006. Fitoplâncton da lagoa do campus universitário da UFES (Vitória, ES): estrutura da comunidade e considerações ecológicas. *Neotropical Biology and Conservation* 1(2):101-109.
- MARTINS, F. C. O. & FERNANDES, V. O. 2007. Estrutura da comunidade de algas perifíticas em substrato natural da lagoa da Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil. *Neotropical Biology and Conservation* 2(1):11-20.
- McCUNE, B. & MEFFORD, M. J. 1999. PC-ORD for Windows. *Multivariate Analyses of Ecological Data, version 4.14*. MjM Software Design, Oregon. 47pp.
- ODUM, E. P. 1983. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara S.A. 434pp.
- PEREIRA, J.B. & LOUREIRO FERNANDES, L. 1999. Variação temporal do zooplâncton da lagoa da UFES, Vitória, Espírito Santo. *Acta Limnologica Brasiliensia* 11(2):79-88.
- PETERSON, C. G. & STEVENSON, R. J. 1990. Post-spate development of epilithic algal communities in different current environments. *Canadian Journal of Botany* 68:2092-2102.
- PIELOU, E. C. 1984. *The interpretation of ecological data*. New York: John Wiley and Sons. 263 pp.
- POMPÊO, M. L. M. & MOSCHINI-CARLOS, V. 2003. *Macrófitas aquáticas e perifiton: aspectos ecológicos e metodológicos*. Ed. RiMa, São Carlos. 134pp.
- RICHARDSON, K., BEARDALL, J. & RAVEN, J.A. 1983. Adaptation of unicellular algae to irradiance: An analysis of strategies. *New Phytologist* 93:157-191.
- RIER, S. T., STEVENSON, J. & LALIBERTE, G. D. 2006. Photo-acclimation response of benthic stream algae across experimentally manipulated light gradients: a comparison of growth rates and net primary productivity. *Journal of Phycology* 42:560-567.

- ROBERTS, S., SABATER, S. & BEARDALL, J. 2004. Benthic microalgal colonization in stream of differing riparian cover and light availability. *Journal of Phycology* 40:1004-1021.
- 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, The Netherlands: 125-143.
- RODRIGUEZ, M. A. 1987. Estimating periphyton growth parameters using simple models. *Limnology and Oceanography* 32:458-464.
- ROEMER, S. C., HOAGLAND, K. D. & ROSOWSKI, J. R. 1984. Development of a freshwater periphyton community as influenced by diatom mucilages. *Canadian Journal of Botany* 62:1799-1813.
- SANT'ANNA, C. L., AZEVEDO, M. T. P., AGUJARO, L. F., CARVALHO, M. C., CARVALHO, L. R. & SOUZA, R. C. R. 2006. *Manual Ilustrado para Identificação e Contagem de Cianobactérias Planctônicas de Águas Continentais Brasileiras*. Interciência, Rio de Janeiro. 58pp.
- SEKAR, R., VENUGOPALAN, V. P., NANDAKUMAR, K., NAIR, K. V. K. & RAO, V. N. R. 2004. Early stages of biofilm succession in a lentic freshwater environment. *Hydrobiologia* 512:97-108.
- SHANNON, C. E. & WEAVER, W. 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana. 173pp.
- SHORTREED, K. S. & STOCKNER, J. G. 1983. Periphyton biomass and species composition in a coastal rainforest stream in British Columbia: effects of environmental changes caused by logging. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40:1887-1895.
- STEVENSON, J. R. 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: STEVENSON, J. R., BOTHWELL, M. L. & LOWE, R. L. (Eds.). *Algal ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. New York: Academic Press: 3-30.
- 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.

- STEINMAN, A. D., McINTIRE, C. D., GREGORY, S. V. L. & LAMBERTI, G. A. 1989. Effects of irradiance and grazing on lotic algal assemblages. *Journal of Phycology* 25:478-485.
- SULTANA, M., ASAEDA, T., MANATUNGE, J. & ABLIMIT, A. 2004. Colonisation and growth of epiphytic algal communities on *Potamogeton perfoliatus* under two different light regimes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 38:585-594.
- THOMAS, S., GAISER, E. E. & TOBIAS, F. A. 2006. Effects of shading on calcareous benthic periphyton in a short-hydroperiod oligotrophic wetland (Everglades, FL, USA). *Hydrobiologia* 569:209-221.
- TUJI, A. 2000. The effect of irradiance on the growth of different forms of freshwater diatoms: implications for succession in attached diatom communities. *Journal of Phycology* 36:659-661.
- UEHLINGER, V. 1964. Étude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. *Archives des Sciences* 17(2):121-123.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton: methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 9:1-38.
- VALDERRAMA, J. C. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry* 10:109-122.
- Van DIJK, G. M. 1993. Dynamics and attenuation characteristics of periphyton upon artificial substratum under various light conditions and some additional observations on periphyton upon *Potamogeton pectinatus* L. *Hydrobiologia* 252:143-161.
- 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(3):363-377.

TABELAS

Tabela 1. Variação das médias das variáveis abióticas e clorofila *a* da água (n=3) registradas no decorrer do processo sucessional. As últimas colunas referem-se aos resultados da análise de variância ANOVA one-way ($p < 0,05$). Médias seguidas de letras iguais para uma mesma variável não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Variável	Dia de colonização							ANOVA	
	2	4	7	11	16	22	29	F	P
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	4,40 ^{ab}	3,03 ^{abc}	5,93 ^a	2,67 ^{bc}	2,73 ^{bc}	1,10 ^c	0,67 ^c	8,342	0,001
Temperatura do ar (°C)	25,07 ^d	27,10 ^{cd}	29,67 ^{ab}	27,43 ^{bc}	31,33 ^a	27 ^{cd}	22,67 ^e	35,744	0,000
Temperatura da água (°C)	24,80 ^{bc}	27,77 ^{abc}	28,30 ^{ab}	26,7 ^{bc}	30,57 ^a	27,6 ^{abc}	24,30 ^c	8,270	0,001
Profundidade (m)	0,70 ^b	0,70 ^b	0,66 ^b	0,70 ^b	0,68 ^b	0,66 ^b	1,00 ^a	20,946	0,000
Transparência média (m)	0,41 ^{bc}	0,37 ^c	0,38 ^c	0,40 ^{bc}	0,43 ^b	0,49 ^a	0,41 ^{bc}	21,326	0,000
Zona eufótica (m)	0,70 ^b	0,70 ^b	0,66 ^b	0,70 ^b	0,68 ^b	0,66 ^b	1,00 ^a	20,946	0,000
Turbidez (NTU)	28,39 ^b	32,03 ^a	29,12 ^{ab}	24,76 ^c	21,47 ^{cd}	19,44 ^d	18,96 ^d	48,169	0,000
Sólidos totais suspensos (mg.L ⁻¹)	27,47 ^{abc}	32,00 ^a	28,44 ^{ab}	27,33 ^{abc}	21,11 ^c	21,78 ^{bc}	23,33 ^{bc}	7,888	0,001
Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	973,00 ^e	1032,67 ^{cd}	1053,00 ^{bc}	986,67 ^{de}	1117,33 ^a	1102,33 ^{ab}	784,00 ^f	90,724	0,000
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	9,66 ^a	9,54 ^a	8,03 ^{ab}	9,45 ^a	10,66 ^a	7,63 ^{ab}	5,01 ^b	7,818	0,001
pH	8,61 ^b	8,81 ^{ab}	8,66 ^{ab}	8,84 ^a	8,65 ^{ab}	8,32 ^c	8,03 ^d	45,765	0,000
Alcalinidade (mEq.L ⁻¹)	1,84 ^{bc}	1,80 ^{bc}	1,74 ^c	2,65 ^a	2,75 ^a	2,86 ^a	2,05 ^b	62,819	0,000
Clorofila <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	43,06 ^{ab}	41,58 ^{ab}	52,87 ^{ab}	60,89 ^{ab}	43,07 ^{ab}	64,82 ^a	40,10 ^b	4,043	0,015
P-PT (µg.L ⁻¹)	127,76 ^b	149,92 ^{ab}	149,45 ^{ab}	144,03 ^{ab}	123,99 ^b	147,56 ^{ab}	169,95 ^a	5,939	0,003
P-PO ₄ (µg.L ⁻¹)	1,37 ^a	0,49 ^a	ND	0,66 ^a	0,53 ^a	1,31 ^a	0,65 ^a	0,863	0,544
N-NO ₃ (µg.L ⁻¹)	12,89 ^b	12,55 ^b	11,63 ^b	15,86 ^b	6,57 ^b	20,51 ^b	122,22 ^a	106,485	0,000
N-NO ₂ (µg.L ⁻¹)	1,00 ^b	0,52 ^b	0,35 ^b	0,21 ^b	0,24 ^b	0,74 ^b	5,51 ^a	40,679	0,000
N-NH ₄ (µg.L ⁻¹)	19,42 ^c	19,31 ^c	16,45 ^c	21,21 ^c	14,34 ^c	113,82 ^b	225,48 ^a	38,326	0,000
Si-SiH ₄ O ₄ (mg.L ⁻¹)	4,45 ^a	4,52 ^a	4,27 ^a	3,40 ^b	2,29 ^c	1,84 ^{cd}	1,48 ^d	81,797	0,000

Tabela 2. Correlações das variáveis abióticas com os componentes principais 1 e 2 da ACP. Números em negrito indicam maiores correlações com os componentes principais.

Variável	Código	Componentes principais	
		1	2
Velocidade do vento	Vent	0,580	-0,295
Pluviosidade	Pluv	-0,964	-0,184
Radiação incidente	Rad	0,767	-0,449
Radiação subaquática	RadSub	0,558	-0,346
Temperatura do ar	Tar	0,769	0,299
Temperatura da água	Tag	0,627	0,399
Profundidade	Prof	-0,931	-0,274
Transparência do Secchi	Sech	-0,209	0,916
Zona eufótica	ZE	-0,931	-0,274
Salinidade	Sal	0,955	0,213
Condutividade elétrica	CE	0,808	0,498
Sólidos totais suspensos	STS	0,395	-0,790
Turbidez	Turb	0,634	-0,711
Potencial hidrogeniônico	pH	0,906	-0,232
Alcalinidade	Alca	0,012	0,915
Clorofila <i>a</i> da água	ClaF	0,213	0,597
Oxigênio dissolvido	OD	0,892	0,070
Nitrato	N-NO ₃	-0,976	-0,174
Nitrito	N-NO ₂	-0,966	-0,215
Nitrogênio amoniacal	N-NH ₄	-0,982	0,137
Fósforo total	PT	-0,746	-0,260
Ortofosfato	P-PO ₄	-0,123	0,432
Ortossilicato	Si-SiH ₄ O ₄	0,691	-0,660
Varição explicada		54,42%	20,59%

Tabela 3. Síntese dos resultados da ACC realizada a partir dos dados abióticos e bióticos.

	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores (λ)	0,233	0,050
Porcentagem de variância explicada (%)	72,2	15,6
Porcentagem de variância acumulada (%)	72,2	87,8
Correlação de Pearson (espécie-ambiente)	0,986	0,991
Correlação de Kendall (espécie-ambiente)	0,857	0,829
Teste Monte Carlo (<i>p</i>)	Autovalores	0,001
	Correlações espécie-ambiente	0,001

Tabela 4. Correlações de Pearson, coeficientes canônicos e correlações “intra-set” das variáveis ambientais com os eixos 1 e 2 da ACC. Números em negrito indicam maiores correlações com os eixos.

Variável	Correlação		Coeficiente canônico		Correlações “intra-set”	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
RadSub	0,681	0,408	0,544	-0,008	0,673	0,086
pH	0,934	0,229	-0,567	0,347	0,962	0,008
OD	0,817	-0,023	0,081	-0,222	0,865	-0,291
N-NO ₃	-0,885	0,022	0,031	-0,126	-0,884	0,412
N-NO ₂	-0,863	0,092	-0,801	3,236	-0,889	0,420
N-NH ₄	-0,966	-0,215	-0,003	-0,025	-0,974	0,093
PT	-0,626	0,159	-0,008	0,070	-0,739	0,445
Si-SiH ₄ O ₄	0,878	0,761	0,488	0,144	0,843	0,510

Tabela 5. Correlações de Pearson dos táxons abundantes de algas com os eixos 1 e 2 da ACC. Números em negrito indicam maiores correlações com os eixos.

Táxon	Código	Eixo 1	Eixo 2
<i>Achnantidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	Acmi	-0,691	-0,755
<i>Aphanocapsa cf. grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst	Apgr	-0,252	-0,281
<i>Chaetophora</i> sp.	Chae	-0,913	-0,509
<i>Gomphonema gracile</i> C.G. Ehrenberg	Gogr	0,125	-0,684
<i>Heteroleibleinia</i> sp.	Hete	-0,980	-0,257
<i>Koliella longiseta</i> (Vischer) Hindák	Kolo	-0,236	-0,429
<i>Merismopedia insignis</i> Shkorbatov	Mein	-0,666	-0,691
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	Mete	-0,618	-0,773
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	Nipa	-0,374	-0,911
<i>Tetraedron minimum</i> (A.Braun) Hansgirg	Temi	-0,290	-0,768
<i>Tetraedron regulare</i> Kützing	Tere	-0,581	-0,803

FIGURAS

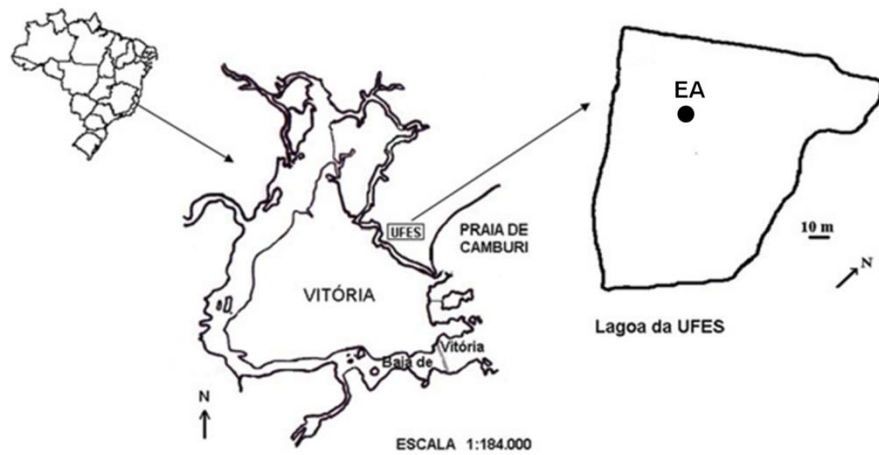


Figura 1. Mapa de localização da lagoa da UFES, município de Vitória, estado do Espírito Santo, litoral Sudeste do Brasil e localização da Estação Amostral (EA) na lagoa (modificado de Martins & Fernandes 2007).

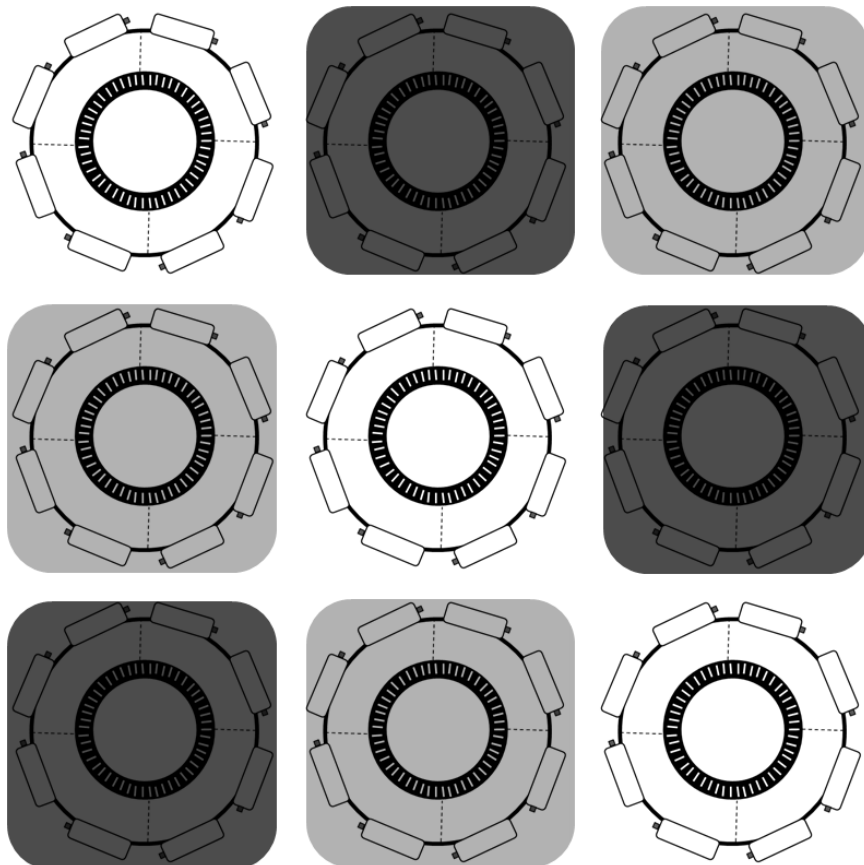


Figura 2. Esquema da estrutura experimental (vista superficial) com a distribuição dos três tratamentos com diferentes níveis de sombreamento na estação amostral da lagoa da UFES.

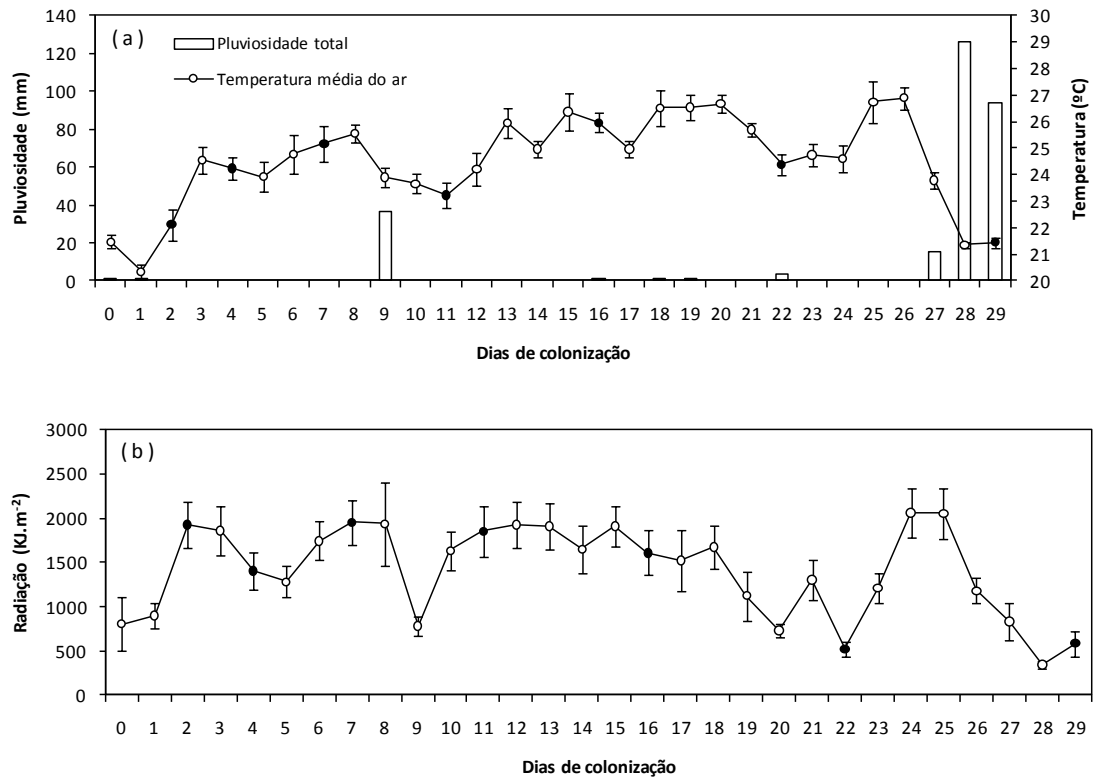


Figura 3. Variação temporal dos valores médios diários (n=24) da temperatura do ar, acompanhados do erro padrão e totais diários de pluviosidade (a) e valores médios diários (n=13) da radiação solar e erro padrão (b) no decorrer do período estudado, com destaque para os dias de amostragem (círculos cheios). As médias e erro padrão para a radiação foram calculados com base nas medidas realizadas dentro do fotoperíodo do dia.

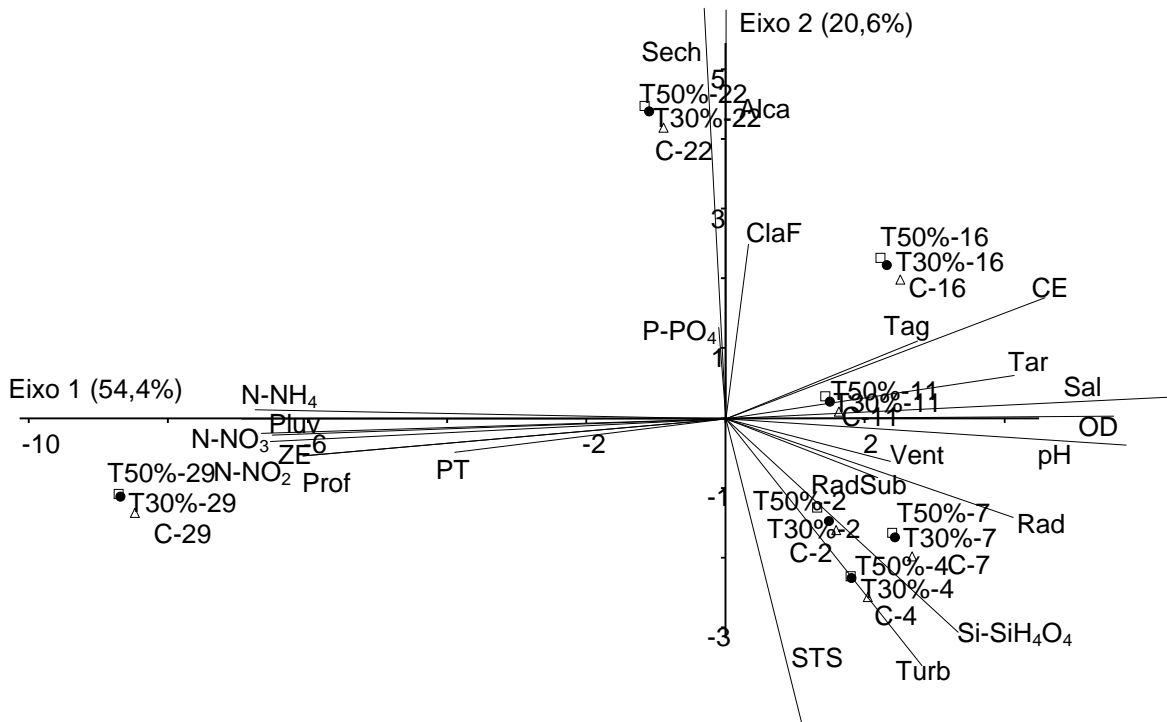


Figura 4. Biplot da ACP para as médias das variáveis abióticas com ordenação dos três tratamentos na lagoa da UFES no decorrer da sucessão. (Δ =Controle (C), \bullet =Tratamento 30% (T30%), \square =Tratamento 50% (T50%), números=dias de colonização). Códigos das variáveis e correlações com os eixos, conforme Tabela 2.

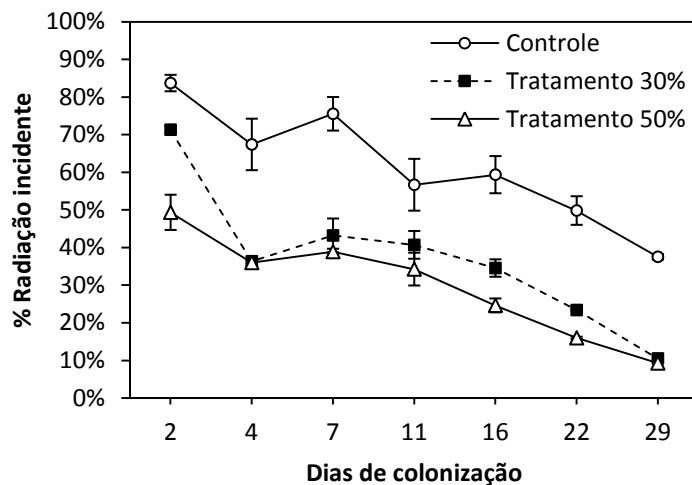


Figura 5. Variação temporal dos valores médios ($n=3$) da porcentagem de radiação incidente que chega a subsuperfície e erro padrão no decorrer do período estudado nos três tratamentos.

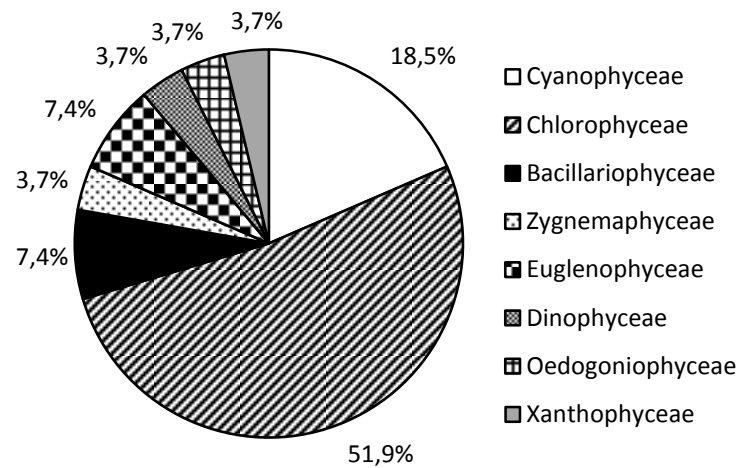


Figura 6. Contribuição percentual das Classes de algas perifíticas no número total de táxons registrados durante todo o período estudado.

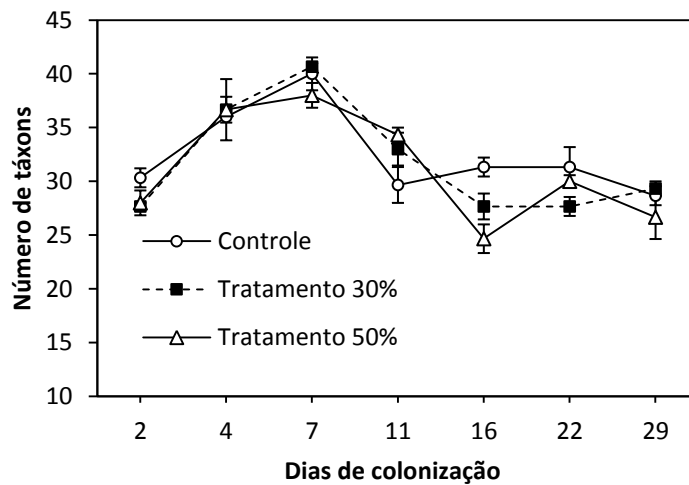


Figura 7. Variação temporal dos valores médios (n=3) da riqueza total e erro padrão no decorrer do processo sucessional nos três tratamentos.

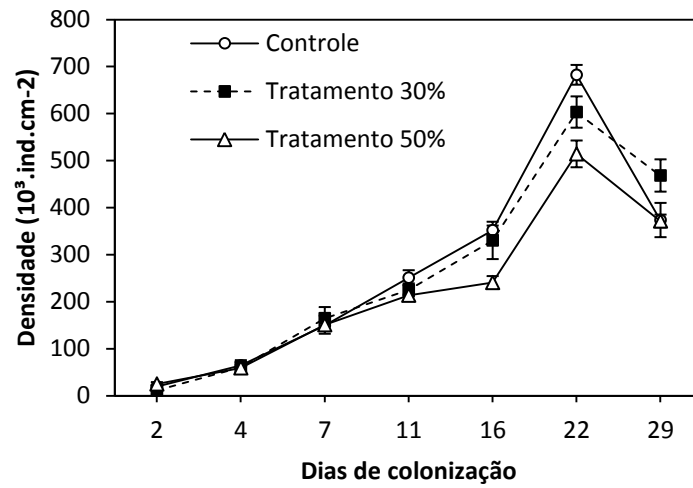


Figura 8. Variação temporal dos valores médios (n=3) da densidade total e erro padrão no decorrer do processo sucessional nos três tratamentos.

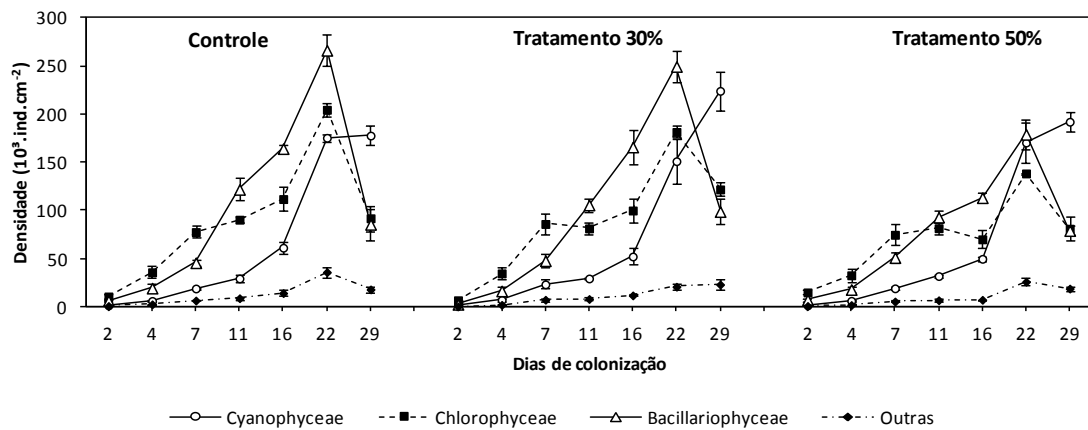


Figura 9. Variação temporal dos valores médios (n=3) da densidade das principais Classes de algas e erro padrão no decorrer do processo sucessional nos três tratamentos.

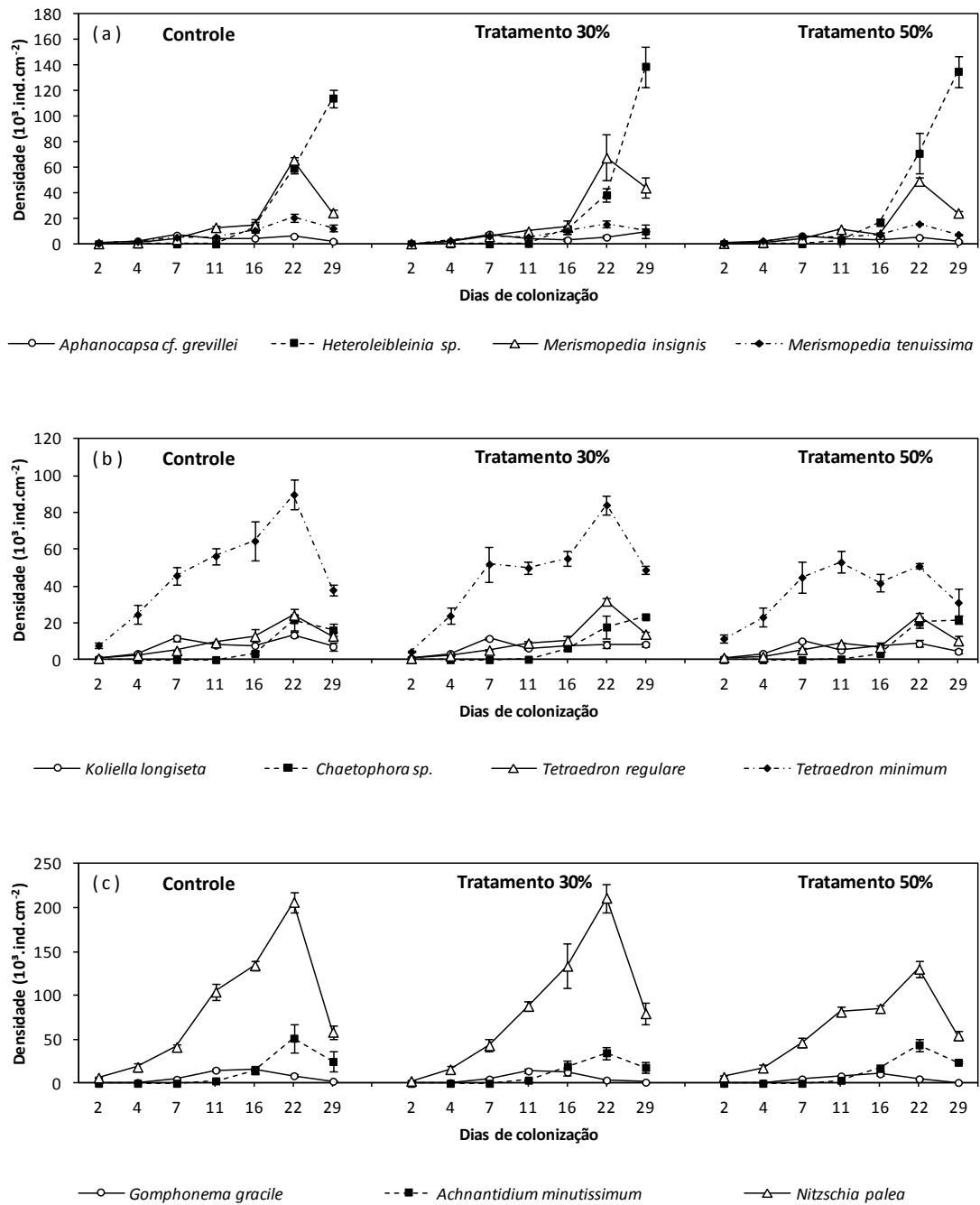


Figura 10. Variação temporal dos valores médios ($n=3$) da densidade dos táxons abundantes das Classes Cyanophyceae (a), Chlorophyceae (b) e Bacillariophyceae (c) e erro padrão no decorrer do processo sucessional nos três tratamentos.

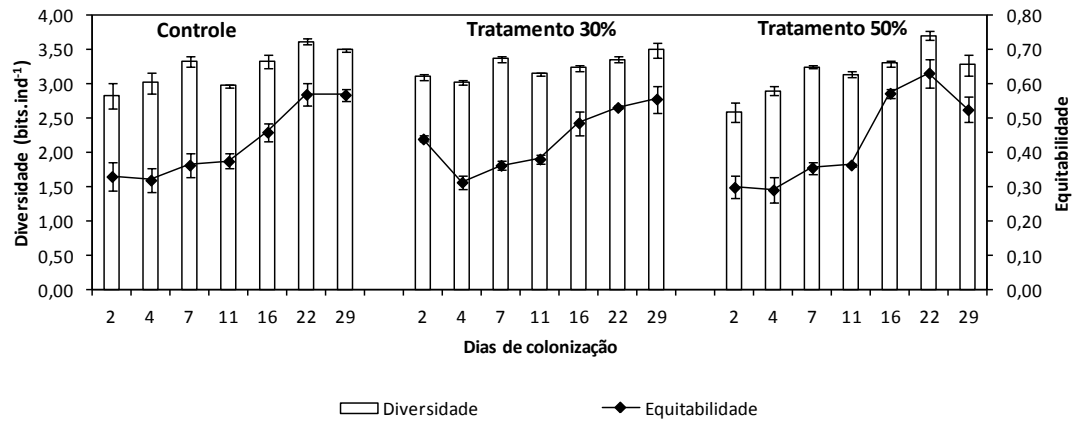


Figura 12. Variação temporal dos valores médios (n=3) da diversidade e equitabilidade e erro padrão no decorrer do processo sucessional nos três tratamentos.

Adriano Goldner Costa^{1*}

Valéria de Oliveira Fernandes²

Efeitos de diferentes níveis de sombreamento sobre a biomassa perifítica ao longo do processo sucessional em uma lagoa artificial tropical (Espírito Santo, Brasil)

¹Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (PPGBV), Centro de Ciências Humanas e Naturais (CCHN), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), *Campus* Universitário Almor Queiroz de Araújo, Av. Fernando Ferrari, s/n, CEP 29060-973, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

*Correspondência do autor: 55 27 33357611, adriano goldner@yahoo.com.br

² Professora do Departamento de Ciências Biológicas/CCHN/UFES. Av. Fernando Ferrari, s/n, CEP 29060-973, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo, Brasil. E-mail: valerias@uol.com.br

RESUMO

Os efeitos de diferentes níveis de sombreamento sobre a biomassa perifítica foram avaliados *in situ* no decorrer da sucessão em uma lagoa artificial tropical rasa no Sudeste do Brasil. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e contou com três tratamentos: Controle (100% da radiação incidente); Tratamento 30% (30% de sombreamento) e Tratamento 50% (50% de sombreamento). Lâminas de vidro foram utilizadas para a colonização do perifíton e sete amostragens foram realizadas, com intervalos de dois a sete dias, durante 29 dias de exposição do substrato. A concentração de pigmentos (clorofilas *a* e *b*, carotenóides e feopigmentos), massa seca, massa seca livre de cinzas e cinzas aumentaram no decorrer da sucessão. A pluviosidade influenciou nos processos de ganho (devido aumento da concentração de nutrientes) e perda (ação do distúrbio) de biomassa. As concentrações de pigmentos fotossintetizantes apresentaram respostas sensíveis, aumentando com o maior sombreamento imposto pelos tratamentos (fotoaclimatação). A massa seca livre de cinzas respondeu de forma inversa, indicando redução na produção de biomassa sob condições de maior sombreamento. A massa seca, as cinzas e os índices biológicos apresentaram respostas pouco sensíveis às diferentes condições de luz. Exceção fez-se ao índice autotrófico e ao índice de Lakatos baseado em clorofila *a*, que foram sensíveis nas fases finais da sucessão. De modo geral, a comunidade apresentou baixa biomassa, predomínio da fração inorgânico-orgânica e características heterotróficas em todos os tratamentos. Tais resultados contribuem para o escasso conhecimento sobre a função da luz como fator controlador da biomassa perifítica em sistemas lênticos tropicais.

Palavras-chave: perifíton, luz, biomassa, pigmentos fotossintéticos, índices, sucessão

INTRODUÇÃO

O perifíton desempenha importante papel nos processos físicos, químicos e biológicos em ecossistemas aquáticos continentais e constituem a fonte principal ou dominante de síntese de matéria orgânica na maioria dos sistemas lênticos (Wetzel, 1990; 1996). As algas constituem o componente mais abundante do perifíton, apresentando dinâmica temporal que varia de acordo com as condições climáticas, físicas e químicas da água e com as características biológicas específicas (Moschini-Carlos, 1999). Dentre as variáveis que podem interferir na produção de biomassa e na composição da comunidade perifítica, destacam-se: luz, nutrientes, temperatura, natureza e qualidade do substrato, turbulência, herbivoria e competição intra e interespecífica (Lowe, 1996; Wetzel, 2001; Fernandes, 2005; Rodrigues et al., 2005).

A luz é um dos principais fatores controladores da estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas no que diz respeito à biomassa (Steinman & McIntire, 1987; Steinman et al., 1989; Roberts et al., 2004; Rier et al., 2006), produtividade (Bott et al., 1985; King & Cummins, 1989, Roberts et al., 2004; Rier et al., 2006), e composição taxonômica (Lyford & Gregory, 1975, Shortreed & Stockner, 1983; Steinman & McIntire, 1987, Roberts et al., 2004; Sultana et al., 2004). Devido à fotossíntese responder às mudanças na disponibilidade de luz, variações ambientais na quantidade e qualidade desta variável afetam potencialmente a fisiologia, crescimento populacional e estrutura da comunidade (Hill, 1996).

Em ecossistemas lênticos, a entrada de luz no sistema é atenuada pela vegetação adjacente e pelas partes emersas de macrófitas aquáticas, provocando diferentes níveis de sombreamento, principalmente na região litorânea. Segundo Hill et al. (1995), baixas irradiâncias ambientais em ambientes sombreados restringem a fotossíntese diária a menos de 25% daquela de ambientes abertos, apesar da alta eficiência fotossintética que o perifíton sombreado pode apresentar. Thomas et al. (2006) salientam que em hidrosistemas lênticos rasos, mesmo que a cobertura de macrófitas enraizadas possa ser substancial, os efeitos do sombreamento sobre o perifíton têm sido negligenciados.

Ao penetrar na coluna d'água, a radiação é submetida a profundas alterações, tanto na sua intensidade quanto na qualidade espectral, as quais dependem de vários fatores, destacando-se a concentração de material dissolvido e a concentração de material particulado, incluindo o fitoplâncton (Hill, 1996; Lowe, 1996). Estudos em ambientes aquáticos rasos têm demonstrado que a ressuspensão do sedimento por ventos aumenta a turbidez, diminuindo significativamente a penetração da irradiância na coluna d'água (Klarer & Millie, 1992). Em situações de relativa abundância de nutrientes, a proliferação do fitoplâncton pode sombrear o perifíton e submetê-lo a uma limitação de luz maior que a de nutrientes (Hansson, 1992). Além desses fatores, a luz é fortemente atenuada ao penetrar na própria matriz perifítica devido ao sombreamento causado pelas diferentes camadas do biofilme, refletindo em mudanças na estrutura e biomassa da comunidade (Losee & Wetzel, 1983).

Apesar do importante papel da luz na fotossíntese e crescimento das algas, seus efeitos sobre a comunidade perifítica permanecem pouco estudados, se comparado ao grande número de estudos sobre os efeitos dos nutrientes (Hill, 1996). Além disso, a maioria dos trabalhos já realizados foi conduzida em sistemas lóticos (Lowe et al, 1986; Hill & Knight, 1988; Hill et al, 1995; Mosisch et al, 2001; Roberts et al, 2004; Rier et al, 2006), sendo mais restritos os estudos em ambientes lênticos, onde as investigações têm apontado a luz como uma importante variável afetando a composição da comunidade ao longo de gradientes de profundidade (Hudon & Bourget, 1983; Hoagland & Peterson, 1990; Borduqui et al, 2008). Entretanto, nestes estudos, os efeitos da luz

sobre o perifíton podem estar relacionados a outros fatores que também variam ao longo da coluna d'água, tais como temperatura, nutrientes e distúrbio, sendo, portanto, difícil distinguir o efeito de uma ou outra variável específica. Dessa forma, experimentos de manipulação da radiação *in situ* são necessários, pois podem contribuir na distinção dos efeitos isolados da luz sobre parâmetros ecológicos importantes como biomassa, produtividade e composição taxonômica da comunidade ao longo da sucessão.

Sand-Jensen (1983) descreveu três fases que ocorrem durante o processo de colonização do perifíton: a fase inicial, caracterizada por um rápido crescimento (exponencial ou linear), refletindo em um aumento do acúmulo de biomassa da comunidade; a fase estacionária, na qual a bioderme atinge um nível de estabilização da biomassa e a fase secundária, em que a produção de biomassa flutua amplamente. Segundo Stevenson (1996), por meio do estudo da dinâmica sucessional é possível conhecer o pico de produção de biomassa, o tempo decorrente para que este ocorra, bem como as alterações na composição taxonômica da comunidade. Roberts et al. (2004) afirmam que o estágio sucessional e o histórico de luz do ambiente interagem e afetam as respostas fotossintéticas da comunidade algal perifítica. Assim, é importante conhecer o regime de irradiância local para relacioná-lo ao metabolismo da comunidade.

Variáveis como massa seca, massa seca livre de cinzas, concentração de pigmentos (clorofila *a*, *b*, *c* e carotenóides) e biovolume têm sido frequentemente utilizadas em estudos que avaliam o efeito da luz sobre a biomassa do perifíton. Segundo Moschini-Carlos e Henry (1985), muitos índices baseados na massa seca, matéria orgânica e clorofila *a* podem ser usados para classificar o perifíton durante as fases de colonização do substrato, de acordo com o estado autotrófico ou heterotrófico, natureza orgânica ou inorgânica e biomassa da comunidade. O objetivo do presente estudo foi avaliar as respostas da biomassa perifítica *in situ* e classificá-la utilizando diferentes índices biológicos ao longo do processo sucessional sob diferentes condições de luminosidade em uma lagoa artificial tropical rasa do Sudeste do Brasil, visando contribuir com informações sobre a função da luz como fator controlador da biomassa perifítica em sistemas lênticos tropicais.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A lagoa da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) (20° 16' 41'' S e 40° 18' 10'' W) está localizada no *Campus* Universitário Alair Queiroz de Araújo, Vitória, ES, litoral Sudeste do Brasil (Fig. 1). Apresenta área de 1,4 ha, volume de $1,7 \times 10^6$ m³ e profundidade média de 1,2 m. Trata-se de um ambiente artificial criado para fins de harmonia paisagística em 1969, desde então submetido ao lançamento de efluentes domésticos *in natura* provenientes de edificações localizadas no próprio *Campus*. Nos últimos anos tem sido mantida por lençol freático e precipitação pluviométrica, exceto em períodos de seca pronunciada, quando então é reabastecida com água bombeada do sistema estuarino Baía de Vitória/Canal da Passagem, localizado a oeste do *Campus* universitário (Pereira & Loureiro-Fernandes, 1999).

O clima predominante no Espírito Santo é o tropical úmido, com média anual da temperatura de 23° C e da precipitação de 1.400 mm. Em Vitória, onde se situa a lagoa da UFES, a temperatura média mensal máxima e mínima é de 30,4° C e 24° C, respectivamente (Martins & Fernandes, 2006). A região apresenta pequena redução da pluviosidade nos meses de maio, junho, julho e agosto com ausência de estação fria propriamente

ditos. Os ventos de maior frequência e intensidade são provenientes do quadrante nordeste, seguindo-se dos que sopram de sudoeste, de norte e de leste.

Estação amostral e delineamento experimental

Para realização do estudo foi determinada uma estação amostral próxima a região central da lagoa da UFES (Fig. 1), onde foi instalada uma estrutura experimental constando de nove unidades experimentais, cada uma constituída por um suporte de borracha circular onde foram encaixadas 50 lâminas de vidro (7,6 x 2,6 cm) que serviram de substrato para a colonização do perifíton. Os suportes foram submersos a 20 cm de profundidade e sustentados por flutuadores, mantendo-se imóveis na estação amostral por estarem presos, por meio de cordas, à âncoras no sedimento.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, contando com três tratamentos em triplicata: Controle (100% da radiação incidente); Tratamento 30% (atenuação de 30% da radiação incidente) e Tratamento 50% (atenuação de 50% da radiação incidente) (Fig. 2). A redução das intensidades luminosas para os Tratamentos 30% e 50% foi obtida por meio da aplicação de telas de polietileno com diferentes níveis de sombreamento (30% e 50%, respectivamente) sobre as unidades experimentais.

Amostragem e análises dos dados

O experimento foi implantado no dia 30 de setembro de 2009 e as amostragens foram realizadas nos dias 02, 04, 07, 11, 16, 22, e 29 de outubro de 2009, correspondendo aos 2º, 4º, 7º, 11º, 16º, 22º e 29º dias de colonização da comunidade perifítica.

As variáveis limnológicas abióticas foram medidas em triplicata (n=3) a 20 cm da subsuperfície da coluna d'água em três pontos próximos às unidades experimentais. Em cada amostragem foram determinados: temperatura do ar (termômetro de bulbo), sólidos totais suspensos (APHA, 1992), turbidez (turbidímetro Alfakit Plus V1.25), pH (potenciômetro digital portátil Alfakit At 300), alcalinidade (Carmouze, 1994), profundidade (profundímetro Speed Tech SM-5), transparência da água e zona eufótica (disco de Secchi), oxigênio dissolvido, temperatura da água, condutividade elétrica e salinidade (medidor multiparâmetros YSI 85), clorofila *a* da água (Lorenzen, 1967), nitrogênio amoniacal (Grasshoff et al., 1983), nitrito (Golterman et al, 1978), nitrato (Mackereth et al, 1978), ortofosfato (Cromatógrafo de íons 861 Advanced Compact IC Metrohn), fósforo total (Valderrama, 1981) e ortossilicato (Aminot e Chaussepied, 1983).

Os dados climatológicos diários para o município de Vitória foram obtidos no Serviço de Informações Agrometeorológicas (SIAG) do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper). As variáveis analisadas foram: temperatura do ar, precipitação pluviométrica, velocidade do vento e radiação solar. *In situ*, também foram registrados junto a cada unidade experimental o valor da radiação incidente e da radiação subaquática, com luxímetro portátil Clauvin Arnoux CA810, para determinar a porcentagem da radiação incidente que chegava à subsuperfície (20 cm) de cada tratamento.

As variáveis bióticas foram analisadas em triplicata (n=3) e para compor cada amostra foram retiradas, por meio de sorteio, cinco lâminas de vidro de cada unidade experimental, as quais foram acondicionadas em frascos de polietileno contendo água da lagoa previamente filtrada (filtros de fibra de vidro GF-1). O material perifítico foi removido do substrato por meio de raspagem com escova de cerdas macias e jatos de água filtrada da lagoa e a área superficial dos substratos foi calculada com um paquímetro. Para análise de pigmentos

fotossintéticos, foram utilizadas amostras do material perifítico filtradas através de filtros de fibra de vidro GF-1, sob baixa pressão, e extração com acetona 90%. A determinação das clorofilas-*a*, *b* e carotenóides seguiu as fórmulas propostas por Parsons et al. (1984) e a determinação de feopigmentos seguiu a fórmula proposta por Lorenzen (1967), sendo todas adaptadas para a comunidade perifítica. A massa seca (MS), massa seca livre de cinzas (MSLC) e cinzas (C) foram determinadas de acordo com Schwarzbald (1990), utilizando amostras de material perifítico filtradas em filtros de fibra de vidro GF-1 pré-calcinados. As taxas de acumulação de biomassa fotossintética foram calculadas através da diferença do teor de clorofila *a* entre dois estágios consecutivos da sucessão dividido pelo intervalo de tempo considerado em dias (Sládeček & Sládečková, 1964). Para classificação do perifiton foram adotados: o Índice Autotrófico (IA), que representa o cociente entre massa seca livre de cinzas e clorofila *a* (APHA, 1992), usado para caracterizar a natureza autotrófica (valores acima de 200) ou heterotrófica (valores abaixo de 200) da comunidade; e os índices propostos por Lakatos (1989), baseados nos valores de clorofila *a* (%), cinzas (%) e massa seca ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), conforme mostra a Tabela 1.

Análises estatísticas

Os dados bióticos e abióticos foram inicialmente avaliados com o uso da estatística descritiva, analisando-se a dispersão dos dados em torno da média, através do programa STATISTICA 7.0. A análise de variância ANOVA one-way ($p < 0,05$) foi utilizada para a comparação das variáveis ao longo da sucessão e entre tratamentos. Para comparação de médias e determinação da diferença mínima significativa entre as variáveis foi realizado o teste de comparações múltiplas de Tukey ($p < 0,05$), através do programa ASSISTAT 7.5 beta. Para avaliação conjunta dos dados abióticos, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP) e para ordenação das variáveis bióticas em função das abióticas foi realizada a Análise de Correspondência Canônica (ACC), ambas através do programa PC-ORD versão 4.14 para Windows (McCune & Mefford, 1999).

RESULTADOS

Variáveis abióticas

No período de amostragem (outubro de 2009), houve variação das condições climáticas locais, sendo os maiores índices pluviométricos registrados nos últimos dias do experimento (Fig. 3). De modo geral, as variações observadas nos valores da temperatura do ar acompanharam aquelas observadas na intensidade da radiação solar, a qual reduziu nos dias 22 e 29 de outubro, sendo este último marcado pela maior precipitação pluviométrica diária acumulada (94 mm) e menor temperatura média do ar ($22,67^{\circ}\text{C}$), dentre os dias amostrados (Fig. 3). A análise de variância (ANOVA one-way) e o teste de Tukey demonstraram que, com exceção do ortofosfato, as demais variáveis abióticas variaram significativamente ($p < 0,05$) ao longo do processo sucessional da comunidade perifítica (Tabela 2).

A análise de componentes principais (ACP) das características abióticas resumiu 75,0% da variabilidade conjunta dos dados no primeiro plano fatorial (Fig. 4). Praticamente toda a variação foi explicada pelo primeiro eixo, onde houve separação entre os dias de amostragem para todos os três tratamentos. As amostragens referentes aos dois últimos dias sucessionais (22 e 29) posicionaram-se à esquerda do eixo, associando-se, principalmente, aos maiores valores de pluviosidade, profundidade, zona eufótica, formas de nitrogênio dissolvido (nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal) e fósforo total. Em contrapartida, as amostragens realizadas até

o 16º dia de sucessão associaram-se positivamente à radiação solar incidente, temperatura do ar, salinidade, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido. Tais variáveis apresentaram correlações com o eixo 1 da ACP $\geq 0,7$ (Tabela 3). Pelo eixo 2, observou-se a formação de um grupo mais homogêneo envolvendo as três primeiras amostragens (dias 2, 4 e 7), associando-se aos maiores valores de sólidos totais em suspensão e turbidez e o isolamento das amostragens do dia 22, que associaram-se positivamente à transparência da água e alcalinidade (Tabela 3).

As porcentagens da radiação incidente que atingiam a subsuperfície (20 cm) da coluna d'água, onde encontravam-se os substratos colonizados pelo perifíton, diferiram significativamente (ANOVA: $F = 21,99$; $p < 0,001$) entre os tratamentos (Fig. 5). Porém, na maioria das amostragens, somente foi possível distinguir o Controle (ausência de sombreamento) dos demais (atenuação de 30% e 50% da irradiância incidente) (teste Tukey com $p < 0,05$).

Variáveis bióticas

A concentração de pigmentos fotossintetizantes aumentou do início ao final da sucessão em todos os tratamentos, com pico máximo no 22º e 29º dias (Fig. 6 e 7). A ANOVA one-way e teste de Tukey mostraram que ao final da sucessão (29º dia), a concentração de clorofila *a* aumentou significativamente nos Tratamentos 30% e 50%, quando comparados ao Controle ($F = 34,65$; $p = 0,001$). Isso pode estar relacionado ao aumento na concentração de pigmentos na comunidade de algas decorrente de uma possível aclimação à sombra. Porém não se pode descartar a possibilidade de que as telas de sombreamento sobre T30% e T50% possam ter protegido o biofilme contra a ação mecânica da chuva, já que o último dia do experimento foi marcado por alto índice pluviométrico (Fig. 3). A concentração de clorofila *b* seguiu o mesmo padrão da clorofila *a*, com valores significativamente maiores nos Tratamentos 30% e 50% ($F = 13,96$; $p = 0,006$) no 29º dia. Diferentemente dos resultados observados em relação às clorofilas-*a* e *b*, a concentração de pigmentos carotenóides diferiu já no 16º dia de colonização, quando os valores dos tratamentos sombreados (T30% e T50%) foram significativamente maiores que os do Controle ($F = 6,94$; $p = 0,027$), reforçando a idéia de uma possível fotoaclimação da comunidade sob menores intensidades luminosas. No 29º dia, foi registrada diferença significativa entre o Controle e o Tratamento 30% ($F = 12,06$; $p = 0,008$), com maiores valores observados para o segundo tratamento (Fig. 6).

As concentrações de feopigmentos seguiram a mesma tendência geral dos demais pigmentos ao longo do processo de sucessão (Fig. 7). Porém, já no 2º dia ($F = 5,08$; $p = 0,051$), valores significativamente menores no Controle foram observados quando comparado ao Tratamento 30%, ocorrendo o mesmo no 16º dia de colonização do substrato ($F = 13,71$; $p = 0,006$). Estes resultados evidenciam que altas luminosidades reduzem a concentração de feopigmentos. Considerando a razão entre clorofila *a* e feopigmentos, não foi observada considerável variação durante os dias sucessoriais, indicando que a proporção entre esses pigmentos se manteve mais ou menos constante. Também não foi evidenciada diferença significativa entre os tratamentos ao longo da sucessão, denotando que a concentração desses pigmentos na comunidade de algas variou da mesma forma sob condições luminosas diferentes.

A taxa de acumulação de biomassa fotossintética baseada na concentração de clorofila *a* por dia ocorreu de forma semelhante entre os diferentes tratamentos ao longo da sucessão, apresentando pico máximo no 22º dia de exposição do substrato e uma acentuada redução dos valores no 29º dia (Fig. 8). As perdas pronunciadas de

biomassa ocorridas no final do experimento podem estar relacionadas aos elevados índices pluviométricos registrados ao final do período de estudo (Fig. 3).

As tendências de incremento de massa seca, cinzas e massa seca livre de cinzas nos diferentes tratamentos seguiram, em linhas gerais, as da biomassa fotossintética, com maiores valores registrados nos estágios finais da sucessão (Fig. 9). A massa seca e as cinzas praticamente não foram alteradas pelos efeitos de sombreamento, não sendo registradas diferenças significativas entre os tratamentos ao longo da sucessão. Por outro lado, a massa seca livre de cinzas foi mais sensível aos efeitos do sombreamento, apresentando valores significativamente menores no Tratamento 50% em relação aos demais no 16º dia ($F = 6,84$; $p = 0,028$), o que indica limitação na produção de matéria orgânica sob menor disponibilidade de luz.

A Tabela 4 mostra a variação da biomassa perifítica baseada nos valores médios de massa seca, porcentagem de cinzas e clorofila *a* e a classificação correspondente de acordo com os índices de Lakatos (1989) para os três tratamentos. Durante toda a sucessão, a comunidade perifítica apresentou baixa biomassa, independente do nível de sombreamento. Com relação ao percentual de cinzas, todos os tratamentos apresentaram predomínio da fração orgânica no início do processo de colonização (2º dia), sendo classificado como orgânico-inorgânico no 4º dia do Controle e do Tratamento 50%, e como orgânico no 4º dia do Tratamento 30%. Do 7º dia em diante, o perifíton apresentou predomínio da fração inorgânico-orgânica, exceto no 16º dia do Tratamento 50%, quando foi caracterizado como inorgânico. Tal fato pode estar relacionado à redução da massa orgânica autotrófica devido ao maior nível de sombreamento imposto por esse tratamento. Com base no percentual de clorofila *a*, a comunidade perifítica apresentou predomínio de características heterotróficas ao longo do processo sucessional em todos os tratamentos, exceto no 2º dia do Controle e do Tratamento 30% e nos estágios finais (22º e 29º dia) dos Tratamentos 30% e 50%, quando foi caracterizado como hetero-autotrófico (Tabela 4). A diferença encontrada nos estágios finais entre o tratamento não sombreado e os demais, pode estar relacionada ao processo de fotoaclimação, com aumento da concentração de clorofila *a* das algas submetidas a condições de baixa incidência luminosa.

A aplicação do índice autotrófico (IA), assim como a classificação de Lakatos (1989) para a porcentagem de clorofila *a*, indicou natureza heterotrófica para todos os tratamentos ao longo de todo processo sucessional, com valores sempre acima de 200 (Fig. 10). Apesar disso, foi evidente a redução dos valores ao longo dos dias de colonização, tendendo a condição autotrófica. A partir da ANOVA one-way e teste de Tukey, foi possível observar diferenças significativas entre o Controle e os demais tratamentos no 16º dia ($F = 39,37$; $p = 0,000$) e 29º dia ($F = 36,28$; $p = 0,000$), evidenciando predomínio de condições heterotróficas na comunidade perifítica sob maior incidência luminosa. Esse resultado pode estar relacionado com a ocorrência de fotoaclimação em condições de maior sombreamento.

A ordenação pela ACC, realizada a partir de oito variáveis abióticas e nove variáveis referentes à biomassa perifítica, resumiu 78,7% da variabilidade total dos dados em seus dois primeiros eixos (Fig. 11 e Tabela 5). As correlações espécie-ambiente para o eixo 1 indicaram forte relação entre as variáveis de biomassa perifítica e as variáveis ambientais utilizadas na ordenação (Tabela 5). Neste eixo ocorreu separação dos dias sucessionais para cada tratamento, representando a escala temporal de estudo. Apesar do curto prazo, ocorreram variações climáticas ao longo do mês de outubro que devem ter influenciado o processo sucessional. Considerando as relações espécie-ambiente (correlações “intra-set”), as variáveis pH, oxigênio dissolvido e ortossilicato associaram-se aos estágios iniciais de sucessão (2º ao 7º dia), quando não foram registrados índices

pluviométricos, já os valores mais elevados de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal se associaram aos estágios finais da sucessão (16° ao 29° dia), quando maiores índices pluviométricos foram registrados (Fig. 11 e Tabela 6). As variáveis bióticas que mais correlacionaram com esse eixo foram, na ordem, clorofila *b*, carotenóides, clorofila *a*, feopigmentos, massa seca livre de cinzas, massa seca, índice autotrófico e cinzas que apresentaram correlação $\geq 0,70$ (Tabela 7). Todas essas variáveis, exceto o índice autotrófico, associaram-se aos estágios finais da sucessão, e, portanto, aos maiores valores das formas nitrogenadas e a menores valores de pH, oxigênio dissolvido e ortossilicato. O eixo 2 foi menos explicativo, apresentando menores correlações espécie-ambiente (Tabela 5) e baixas correlações “intra-set” (Tabela 6).

DISCUSSÃO

Durante o período estudado, a estação amostral na lagoa da UFES apresentou pequena profundidade, águas alcalinas, elevados valores de temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, além de baixa transparência. Porém, a ACP das variáveis abióticas mostrou nítida separação entre as amostragens iniciais e intermediárias da sucessão (2° ao 16° dia), que apresentaram maiores valores de oxigênio dissolvido, pH, salinidade, condutividade elétrica, e as amostragens finais (22° ao 29° dia), que apresentaram maiores valores de profundidade, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e fósforo total. Esta heterogeneidade temporal em curto prazo possivelmente foi influenciada pelo regime de chuvas na região durante o mês de outubro que promoveu modificações nos fatores abióticos, os quais apresentam relevante influência na variação temporal da biomassa da comunidade perifítica, conforme evidenciado pela ACC.

Apesar das porcentagens de radiação incidente registradas em campo nem sempre terem apresentado diferenças significativas entre os tratamentos sombreados, os efeitos dos mesmos sobre a biomassa da comunidade de algas perifíticas ao longo do processo sucessional foram significativos. No entanto, deve-se frisar que a maioria dos resultados envolvendo respostas às diferentes quantidades de luz só foi notória entre o Controle (ausência de sombreamento) e os Tratamentos 30% e 5-% (atenuação de 30% e 50% da radiação incidente, respectivamente), sem distinção significativa entre os dois últimos.

A biomassa perifítica em termos de concentração de pigmentos, massa seca e matéria orgânica seguiu um padrão semelhante entre os tratamentos com incremento ao longo do tempo de colonização. Estudos anteriores em ecossistemas lênticos tropicais também têm registrado aumento exponencial de acúmulo de biomassa durante os processos de colonização e sucessão (Vercellino & Bicudo, 2006; França et al, 2009). De acordo com Biggs (1996), durante o desenvolvimento do perifíton existe uma fase inicial de rápido crescimento, aumento de biomassa e produtividade, e uma fase secundária com máximo incremento de biomassa e produtividade. Segundo o mesmo autor, o tempo requerido para atingir o pico de biomassa varia de poucos dias a muitos meses, dependendo da disponibilidade de luz e nutrientes e intensidade da herbivoria. Em uma revisão dos estudos realizados com perifíton no Brasil, Bicudo et al. (1995) registraram que para ambientes tropicais, no inverno, o pico máximo de massa seca deve ocorrer entre o 21° e o 28° dia de colonização, corroborando com o padrão encontrado neste estudo. Com relação à biomassa fotossintética, outros estudos realizados com substratos artificiais também registraram padrão temporal semelhante (Cerrão et al., 1991; Vercellino & Bicudo, 2006; Siqueira & Rodrigues, 2009). Na lagoa da UFES, os maiores valores de biomassa perifítica foram registrados nos estágios finais do experimento, correlacionando-se com o aumento da disponibilidade de nitrogênio e fósforo

no 22º e 29º dias de colonização, conforme evidenciou a ACC. Nestes, a elevada precipitação deve ter sido o principal fator contribuinte para o aumento dos nutrientes devido ao carreamento de material orgânico adjacente à lagoa e ressuspensão do sedimento orgânico. Esse padrão de modificação do ambiente devido às chuvas também foi verificado por Martins e Fernandes (2006), estudando o fitoplâncton da lagoa da UFES. Apesar da contribuição indireta da chuva para o incremento de biomassa perifítica, também pode ter contribuído com processos de perdas de biomassa devido ao distúrbio, justificando o fato de não ter ocorrido aumento significativo de biomassa entre os dois últimos dias de colonização. De acordo com Peterson (1996), as respostas das algas perifíticas às diferentes perturbações são dependentes da magnitude e/ou da duração do evento, além das propriedades ecofisiológicas das espécies que compõem a comunidade. Muitos estudos reportam a influência das condições hidrodinâmicas do sistema sobre a biomassa perifítica em escala sazonal (Moschini-Carlos et al., 2000; Vercellino & Bicudo, 2006; Leandrine & Rodrigues, 2008; França et al., 2009). Porém, no presente estudo, ficou evidente também sua influência em escala sucessional.

Os pigmentos e, conseqüentemente, a fotossíntese, respondem quantitativamente e qualitativamente a uma série de fatores como temperatura, nutrientes, estabilidade do substrato, herbivoria e, sobretudo, luz, um pré-requisito claro à existência fototrófica (Hill, 1996). Neste estudo os pigmentos apresentaram respostas sensíveis às diferentes condições de luz impostas pelos tratamentos, sobretudo nas fases intermediárias e finais da colonização. Pelo fato de estarem envolvidos diretamente nos processos de fotoaclimação e fotoinibição, tornam-se recomendáveis em estudos que envolvam os efeitos da luz.

Considerando os efeitos do sombreamento sobre o perifíton, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, com respostas diferenciadas dos pigmentos analisados. Os maiores valores da concentração de clorofila *a* estiveram relacionados aos maiores níveis de sombreamento ao final do experimento, evidenciando um possível processo de adaptação da comunidade a baixas intensidades luminosas. Segundo Hill (1996), sob baixas intensidades luminosas, as algas tendem a passar pelo processo de adaptação à sombra, aumentando a eficiência fotossintética por meio do aumento da concentração de pigmentos fotossintéticos e redução da taxa fotossintética. Roberts et al. (2004), estudando a colonização do perifíton em riachos com diferentes disponibilidades de luz, registrou maior concentração de clorofila, tanto por área quanto por célula, na comunidade algal do ambiente com menor disponibilidade de luz, afirmando que essa diferença deve-se a uma resposta adaptativa da comunidade de algas ao maior sombreamento. Os dados obtidos no presente estudo corroboram tais afirmações, sendo que, de modo geral, ocorreu aumento na concentração de pigmentos e redução da massa orgânica sob condições de baixa irradiância. De acordo com Stevenson (1996), a clorofila *a*, principal pigmento comum a todas as algas autotróficas, é muito utilizada como medida de estimativa de biomassa. No entanto, adaptações cromáticas à baixa luz e deficiência de nutrientes, por exemplo, podem alterar a razão entre este pigmento e a matéria orgânica algal (Stevenson, 1996), como observado neste estudo.

O mesmo padrão de variação da clorofila *a* foi observado para a clorofila *b* em relação aos diferentes níveis de luminosidade. Além disso, os valores absolutos entre estes dois pigmentos estiveram bem próximos no decorrer da sucessão em todos os tratamentos. De acordo com Greisberger e Teubner (2007), baixa luminosidade propicia aumento de pigmentos acessórios, elevando a razão entre eles e a clorofila *a*. A reduzida transparência registrada na lagoa da UFES em todo estudo pode ter contribuído com a proximidade entre os valores observados para esses pigmentos, inclusive no tratamento sem sombreamento artificial. Além de um potencial processo de fotoaclimação natural, a elevada densidade de clorófitas nesse ambiente, conforme também

registrado por Martins e Fernandes (2007), pode ter contribuído com essa relação na comunidade, uma vez que a clorofila *b* é o principal pigmento acessório deste grupo.

Os carotenóides estão presentes em todos os grupos de algas e sua elevada razão com relação à clorofila *a* pode indicar dois papéis importantes: como pigmento antena, interceptando e direcionando os fótons ao centro de reação e como pigmento fotoprotetor, absorvendo o excesso de luz e impedindo a fotoinibição (Hill, 1996). No presente estudo, a concentração de carotenóides foi sensível aos efeitos do sombreamento, do ponto de vista ecofisiológico, apresentando maiores valores sob condições de baixa intensidade luminosa já no 16º dia de colonização do substrato. O acúmulo de carotenóides na comunidade exposta a baixas irradiâncias reforça a idéia de adaptação à sombra, refletindo em aumento na quantidade de pigmentos antena e na eficiência fotossintética. Tal resultado evidencia a importante atuação destes pigmentos como acessórios, captando e canalizando os fótons que penetram na água para a fotossíntese.

As concentrações de feopigmentos seguiram a mesma tendência geral dos demais pigmentos ao longo do processo de sucessão, porém apresentaram menores valores sob condições de maior luminosidade. Isso pode ser um reflexo da própria concentração de clorofila *a*, a qual quando degradada transforma-se em feopigmentos, deixando de ser funcional. A relação entre clorofila *a* e feopigmentos é um indicativo do estado fisiológico da comunidade (Stevenson, 1996). A variação não significativa dessa razão ao longo dos dias sucessionais indicou que a proporção entre esses dois pigmentos se manteve mais ou menos constante, com valores superiores de clorofila *a*, característicos de uma comunidade jovem em desenvolvimento. Também não foi evidenciada diferença entre os tratamentos ao longo da sucessão, denotando que a concentração desses pigmentos na comunidade de algas variou da mesma forma sob condições luminosas diferentes. Thomas et al. (2006), estudando os efeitos do sombreamento sobre o perifíton em curto período de tempo em um lago oligotrófico nos Everglades (FL, EUA), relatou que, devido ao experimento ser espectralmente neutro, a razão entre os pigmentos não foi alterada sob diferentes intensidades de radiação, apesar da densidade de pigmentos por célula ter variado. O mesmo foi observado neste estudo, tanto com relação aos feopigmentos, quanto com relação aos demais pigmentos.

Através da taxa de acumulação de biomassa, baseada nas concentrações de clorofila *a*, pode-se avaliar os processos de perda e ganho de biomassa durante a seqüência sucessional. O pico máximo de biomassa registrado no 22º dia de colonização pode estar relacionado tanto ao incremento inerente ao próprio processo sucessional, quanto aos maiores valores de nutrientes, como evidenciado pela ACC para todos os tratamentos. As maiores perdas de biomassa ocorreram entre os dois últimos dias de colonização e devem estar relacionadas principalmente, a fatores físicos, tais como as ações perturbadoras da precipitação e oscilação no nível d'água, conforme também observado no estudo de Vercellino e Bicudo (2006) durante o período chuvoso. A maior precipitação pluviométrica e aumento de profundidade registrados nas fases finais do experimento corroboram essa relação, conforme discutido anteriormente. É importante ressaltar que a maior perda de biomassa no Controle em relação aos demais tratamentos no 29º de colonização, pode estar relacionada à ausência da tela de sombreamento, que conferiram certa proteção contra a ação mecânica da chuva nos tratamentos sombreados. Além destes eventos, Biggs (1996) salienta que a herbivoria e a competição interespecífica nos estágios tardios podem levar à perdas substanciais de biomassa.

Diferente da massa seca e das cinzas, a massa seca livre de cinzas apresentou resposta sensível aos diferentes níveis de sombreamento, indicando limitação na produção de matéria orgânica sob menor

disponibilidade de luz. Por exercer influência direta na atividade fotossintética das algas, bem como nos seus ritmos biológicos e ciclos de divisão celular, a baixas intensidades luminosas reduzem significativamente a produção de biomassa. Sendo assim, estes resultados corroboram estudos prévios que comprovam que a luz atua, de fato, como um fator controlador da produtividade e ganho de biomassa (Bothwell, 1988; 1989; Boston & Hill, 1991).

A comunidade perifítica inclui organismos autotróficos e heterotróficos, assim como detritos orgânicos e inorgânicos de origem alóctone e autóctone (Fernandes & Esteves, 2003). De acordo com Lakatos (1989), a biomassa perifítica, estimada pelo conteúdo de cinzas, inclui predominantemente material inorgânico e, quando estimado por clorofila *a*, corresponde a comunidade de algas fotossintéticas. Com base nos valores de massa seca, o perifíton foi caracterizado por baixa biomassa dos primeiros aos últimos estágios do experimento em todos os tratamentos, apesar do incremento observado ao longo da sucessão. Isso pode estar relacionado aos baixos valores de nutrientes nitrogenados e fosfatados na coluna d'água durante a maior parte da sucessão, limitando o crescimento das algas perifíticas. Evidências de que baixa disponibilidade de nutrientes limita o crescimento das algas perifíticas têm sido reportadas em diferentes estudos (Sand-Jensen, 1983; Fernandes & Esteves, 2003; Leandroini & Rodrigues, 2008).

A aplicação do índice autotrófico (IA), assim como a classificação de Lakatos (1989) para a porcentagem de clorofila *a*, indicou natureza heterotrófica para todos os tratamentos ao longo de todo processo sucessional. Fernandes e Esteves (2003), usando o IA, também registraram dominância da condição heterotrófica na comunidade perifítica em duas estações de amostragem e dois tipos de substrato na lagoa Imboassica, RJ. Resultado diferente foi encontrado por Leandroini e Rodrigues (2008), avaliando o perifíton em ambientes semilóticos da planície de inundação do alto Rio Paraná, em que a comunidade caracterizou-se predominantemente como autotrófica, baseados na clorofila *a* e no IA. Apesar disso, foi evidente a redução dos valores ao longo dos dias de colonização, tendendo a uma condição mais autotrófica explicado pelo aumento da biomassa algal. Resultados semelhantes foram descritos por Azim e Asaeda (2005), em um experimento de seis semanas, apresentando valores de IA altos durante os dias iniciais e diminuição gradual dos mesmos até a quarta semana. Segundo os autores, isso indica que a matéria orgânica de origem não algal (coluna d'água e bactérias) domina a composição perifítica nos estágios iniciais de colonização. A classificação do perifíton como orgânico e orgânico-inorgânico pelo índice de cinzas e como heterótrofo e hetero-autotrófico pela clorofila *a* no início da sucessão reforçam a afirmação acima para a lagoa da UFES. Fernandes e Esteves (2003) salientam que as características heterotróficas na comunidade devem estar relacionadas aos seguintes fatores: maior densidade de bactérias e/ou fungos, que são organismos caracteristicamente pioneiros; baixa densidade de organismos nos primeiros estágios de colonização; perda de organismos perifíticos nos estágios finais; acúmulo de material inorgânico alóctone sobre o substrato, especialmente em períodos de alta precipitação. A combinação desses fatores pode explicar a variação do perifíton de orgânico para inorgânico-orgânico ao longo da sucessão.

Dos índices de Lakatos (1989), apenas o que baseia-se na porcentagem de clorofila *a* permitiu distinguir a comunidade nas fases finais dos tratamentos, sendo que sob condições sombreadas o perifíton foi classificado como hetero-autotrófico e sob maiores irradiâncias como heterotrófico. Esse resultado pode estar relacionado com a ocorrência de fotoaclimatação devido ao maior sombreamento, refletindo no aumentando do conteúdo de clorofila *a* como já havia sido reportado. Os valores absolutos do IA também evidenciaram essa tendência, sendo que sob condições de maior radiação a comunidade apresentou características heterotróficas mais fortes. Nesse

caso, além da adaptação à sombra, a fotoinibição também é um fenômeno fisiológico que pode explicar este comportamento, inibindo a fotossíntese em curto prazo sob altas irradiâncias.

As medidas de biomassa avaliadas neste estudo apresentaram tendência a variações sob diferentes condições luminosas, principalmente nas etapas intermediárias e finais do processo de colonização. Considerando a escala temporal, ficou evidente pela ACC, que todas as variáveis de biomassa analisadas aumentaram ao longo do processo sucessional, independente do tratamento imposto, correlacionando-se aos maiores valores de nutrientes ao final do experimento. Exceção fez-se aos valores de IA, que apresentaram comportamento oposto, reduzindo ao longo do processo de colonização.

CONCLUSÃO

Em síntese, a biomassa perifítica em termos de concentração de pigmentos e matéria orgânica, aumentou durante o processo de colonização. Os efeitos dos diferentes níveis de sombreamento foram mais evidentes a partir da segunda semana de sucessão, quando diferenças significativas foram registradas. A variação da concentração de pigmentos e matéria orgânica na comunidade foi influenciada primariamente pelos processos autogênicos, os quais foram influenciados em grande parte pelos processos alogênicos (principalmente nutrientes). Com relação aos efeitos da luz, a concentração de pigmentos fotossintéticos apresentou respostas sensíveis às variações impostas pelo sombreamento do ponto de vista fisiológico (fotoaclimatação), especialmente os carotenóides. A matéria orgânica respondeu de forma inversa aos pigmentos, mostrando-se melhor como uma medida de produção de biomassa. Os índices, de forma geral, não apresentaram variação entre tratamentos, porém as respostas foram boas quanto ao processo de sucessão. Exceção fez-se ao IA e ao de Lakatos baseado na percentagem de clorofila *a*, que mostraram variações entre as diferentes condições de irradiância nos estágios finais da sucessão.

AGRADECIMENTOS

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), e ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da UFES, pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor, e ao Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Norte Fluminense, pelo auxílio nas análises de nutrientes.

REFERÊNCIAS

- Aminot, A. & M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest: Centre National pour l'Exploration des Océans, 395 p.
- Apha, 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington D. C.
- Azim, M. E., T. Asaeda, 2005. Periphyton structure, diversity and colonization. In: Azim, M. E., M. C. J. Verdegem, A. A. van Dam, M. C. M. Beveridge, (Eds.). Periphyton: ecology, exploitation and management. Cambridge: CABI Publishing. p.15-34.

- Bicudo, D. C., O. Necchi-Júnior, B. C. B. Chamixaes, 1995. Periphyton studies in Brazil: present status and perspectives. In: Tundisi, J. G., C. E. M. Bicudo, T. Matsumura-Tundisi, (Eds.). *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro: ABC/SLC: 37- 58.
- Biggs, B. J. F., 1996. Patterns in Benthic Algae of streams. In: Stevenson, J. R., M. L. Bothwell & R. L. Lowe, (Eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. New York: Academic Press, San Diego: 31-56.
- Borduqui, M., C. Ferragut & C. E. M. Bicudo, 2008. Chemical composition and taxonomic structure vertical and seasonal variation of periphyton community in a shallow hypereutrophic reservoir (Garças Reservoir, São Paulo, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 20:381-392.
- Boston, H. L., W.R. Hill, 1991. Photosynthesis-light relations of stream periphyton communities. *Limnology and Oceanography* 36:644-654.
- Bothwell, M. L., 1988. Growth rate responses of lotic periphytic diatoms to experimental phosphorus enrichment: the influence of temperature and light. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45:261-270.
- Bothwell, M. L., 1989. Phosphorus-limited growth dynamics of lotic periphytic diatom communities: areal biomass and cellular growth rate responses. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46:1293-1301.
- Bott, T. L., J. T. Brock, C. S. Dunn, R. J. Naiman, R. W. Ovinck & R. C. Peterson, 1985. Benthic community metabolism in four temperate stream system: an inter-biome comparison and evaluation of the river continuum concept. *Hydrobiologia* 123:3-45.
- Carmouze, J. P., 1994. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. Editora Edgard Blucher/FAPESP, São Paulo, 254pp.
- Cerrão, G. C., V. Moschini-Carlos, M. J. Santos & O. Rigolin, 1991. Efeito do enriquecimento artificial sobre a biomassa de perifíton em tanques artificiais na represa do Lobo (Broa). *Revista Brasileira de Biologia* 51:71-78.
- Fernandes, V. O., 2005. Perifíton: conceitos e aplicações da limnologia à engenharia. In: Roland, F., D. Cesar, M. Marinho, (Eds.). *Lições de Limnologia*, São Carlos: Rima: 351-370.
- Fernandes, V. O. & F. A. Esteves, 2003. The use of indices for evaluating the periphytic community in two kinds of substrate in Imboassica Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 63(2):233-243.
- França, R. C. S., M. R. M. Lopes & C. Ferragut, 2009. Temporal variation of biomass and status nutrient of periphyton in shallow Amazonian Lake (Rio Branco, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 21(2):175-183.
- Golterman, H. L., R. S. Clymo & M. A. M. Ohnstad, 1978. *Methods for chemical analysis of freshwater*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 213 pp.
- Grasshoff, K. M., K. Ehrhardt & K. Kremling, 1983. *Methods of seawater analysis*. 2. Ed. Basel: Verlag Chemie. 419 p.
- Greisberger, S. & K. Teubner, 2007. Does pigment composition reflect phytoplankton community structure in differing temperature and light conditions in a deep alpine lake? An approach using HPLC and delayed fluorescence technique. *Journal of Phycology* 43:1108-1119.
- Hansson, L. A., 1992. Factors regulating periphytic algal biomass. *Limnology & Oceanography*, 33:121-128.
- Hill, W. R., 1996. Effects of light. In: Stevenson, J. R., M. L. Bothwell & R. L. Lowe, (Eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. New York: Academic Press, San Diego: 121-144.
- Hill, W. R. & A. W. Knight, 1988. Nutrient and irradiance limitation of algae in two northern California streams. *Journal of Phycology* 24:125-132.

- Hill, W. R., M. G. Ryon, & E. M. Schilling, 1995. Light limitation in a stream ecosystem: responses by primary producers and consumers. *Ecology* 76(4):1297-1309.
- Hoagland, K. D. & C. G. Peterson, 1990. Effects of light and wave disturbance on vertical zonation of attached microalgae in a large reservoir. *Journal of Phycology* 26:450-457.
- Hudon, C. & E. Bourget, 1983. The effect of light on the vertical structure of epibenthic diatom communities. *Botanica Marina* 26:317-330.
- King, D. K. & K. W. Cummins, 1989. Autotrophic-heterotrophic community metabolism relationship of the woodland stream. *Journal of Freshwater Ecology* 5:205-218.
- Klarer, D. M. & D. F. Millie, 1992. Aquatic macrophytes and algae at Old Woman Creek estuary and other Great Lakes coastal wetlands. *Journal of Great Lakes Research* 18:622-633.
- Lakatos, G., 1989. Composition of reed periphyton (biotecton) in the Hungarian part of lake Fertő. *Biol. Forschung für Burg.* 71:125-134.
- Leandrini, J. A. & L. Rodrigues, 2008. Temporal variation of periphyton biomass in semilotic environments of the upper Paraná River floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia* 20(1):21-28.
- Lorenzen, C. J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12:343-346.
- Losee, R. F. & R. G. Wetzel, 1983. Selective light attenuation by the periphyton complex. In: Wetzel, R. G. (Ed.). *Periphyton of freshwater ecosystems*. Dr. W. Junk Publishers, The Hague: 89-96.
- Lowe, R. L., 1996. Periphyton patterns in lakes In: Stevenson, J. R., M. L. Bothwell & R. L. Lowe, (Eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. New York: Academic Press, San Diego: 57-76.
- Lowe, R. L., S. W. Golladay, J. R. Webster, 1986. Periphyton response to nutrient manipulation in streams draining clearcut and forested watersheds. *Journal of North American Benthological Society* 5:221-229.
- Lyford, J. H. & S. V. Gregory, 1975. The dynamics and structure of periphyton communities in three Cascade Mountain streams. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 19:1610-1616.
- Mackereth, F. J. H., J. Heron & J. F. Talling, 1978. *Water analysis: Some revised methods for limnologists*. Kendall: Titus Wilson & Son Ltd. 117 pp.
- Martins, F. C. O. & V. O. Fernandes, 2006. Fitoplâncton da lagoa do campus universitário da UFES (Vitória, ES): estrutura da comunidade e considerações ecológicas. *Neotropical Biology and Conservation* 1(2):101-109.
- Martins, F. C. O. & V. O. Fernandes, 2007. Estrutura da comunidade de algas perifíticas em substrato natural da lagoa da Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil. *Neotropical Biology and Conservation* 2(1):11-20.
- McCune, B. & M. J. Mefford, 1999. *PC-ORD for Windows. Multivariate Analyses of Ecological Data*, version 4.14. MjM Software Design, Oregon. 47pp.
- Moschini-Carlos, V., 1999. Importância, estrutura e dinâmica da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos continentais. In: Pompêo, M. L. M. (Org.). *Perspectivas da limnologia no Brasil*. São Luis: Ed. União: 91-103.
- Moschini-Carlos, V. & R. Henry, 1997. Aplicação de índices para a classificação do perifíton em substratos natural e artificial, na zona de desembocadura do rio Paranapanema (Represa de Jurumirim), SP. *Revista Brasileira de Biologia* 57(4):655-663.

- Moschini-Carlos, V., R. Henry & M. L. M. Pompêo, 2000. Seasonal variation of biomass and productivity of the periphytic community on artificial substrata in the Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Hydrobiologia* 434(1):35-40.
- Mosisch, T. D., S. E. Bunn & P. M. Davies, 2001. The relative importance of shading and nutrients on algal production in subtropical streams. *Freshwater Biology* 46:1269-1278.
- Parsons, T. R., M. Takahashi & B. Hargrave, 1984. *Biological Oceanographic Process*. 3.ed. Oxford: Pergamon Press Ltd. 330pp.
- Pereira, J.B. & L. Loureiro-Fernandes, 1999. Variação temporal do zooplâncton da lagoa da UFES, Vitória, Espírito Santo. *Acta Limnologica Brasiliensia* 11(2):79-88.
- Peterson, C. G., 1996. Response of benthic algal communities to natural physical disturbance. In: Stevenson, J. R., M. L. Bothwell & R. L. Lowe, (Eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. New York: Academic Press, San Diego: 705-739.
- Rier, S. T., J. Stevenson & G. D. Laliberte, 2006. Photo-acclimation response of benthic stream algae across experimentally manipulated light gradients: a comparison of growth rates and net primary productivity. *Journal of Phycology* 42:560-567.
- Roberts, S., S. Sabater & J. Beardall, 2004. Benthic microalgal colonization in stream of differing riparian cover and light availability. *Journal of Phycology* 40:1004-1021.
- Rodrigues, L., I. A. Fonseca, J. A. Leandrini, S. A. Felisberto & E. L. V. Silva, 2005. Distribuição espacial da biomassa perifítica em reservatórios e relação com o tipo de substrato. In: Rodrigues, L., S. M. Thomaz, A. A. Agostinho & L. C. Gomes. *Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*. Ed RiMa, São Carlos: 87-96.
- Sand-Jensen, K., 1983. Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. In: Wetzel, R. G. (Ed.). *Periphyton of freshwater ecosystems*. The Hague Dr. W. Junk: 63-71.
- Schaszbold, A., 1990. Métodos ecológicos aplicados ao estudo do perifíton. *Acta Limnologica Brasiliensia*. v.III, Botucatu: 545-592.
- Shortreed, K. S. & J. G. Stockner, 1983. Periphyton biomass and species composition in a coastal rainforest stream in British Columbia: effects of environmental changes caused by logging. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40:1887-1895.
- Siqueira, N. S. & L. Rodrigues, 2009. Biomassa perifítica em tanques-rede de criação de tilápia do Nilo - *Oreochromis niloticus* (Linneau, 1758). *Boletim do Instituto de Pesca* 35(2): 181-190.
- Sládeček, V. & A. Sládečková, 1964. Determination of the periphyton production by means of the glass slide method. *Hydrobiologia* 23:125-158.
- Stevenson, J. R., 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: Stevenson, J. R., M. L. Bothwell & R. L. Lowe, (Eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. New York: Academic Press, San Diego: 3-30.
- Steinman, A. D. & C. D. McIntire, 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.
- Steinman, A. D., C. D. McIntire, S. V. L. Gregory & G. A. Lamberti, 1989. Effects of irradiance and grazing on lotic algal assemblages. *Journal of Phycology* 25:478-485.

- Sultana, M., T. Asaeda, J. Manatunge & A. Ablimit, 2004. Colonisation and growth of epiphytic algal communities on *Potamogeton perfoliatus* under two different light regimes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 38:585-594.
- Thomas, S., E. E. Gaiser & F. A. Tobias, 2006. Effects of shading on calcareous benthic periphyton in a short-hydroperiod oligotrophic wetland (Everglades, FL, USA). *Hydrobiologia* 569:209-221.
- Valderrama, J. C., 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry* 10:109-122.
- Vercellino, I. S. & D. C. Bicudo, 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(3):363-377.
- Wetzel, R. G., 1990. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 24:6-24.
- Wetzel, R. G., 1996. Benthic algae and nutrient cycling in lentic freshwater ecosystems. In: Stevenson, J. R., M. L. Bothwell & R. L. Lowe, (Eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. New York: Academic Press, San Diego: 641-667.
- Wetzel, R. G., 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd ed. Academic Press, San Diego, California. 850 pp.

TABELAS

Tabela 1 Classificação do perifíton de acordo com variações na biomassa (LAKATOS, 1989).

Tipo	Massa seca	g.m⁻¹
I	Perifíton com massa elevada	>40
II	Perifíton com massa média	20-40
III	Perifíton com massa baixa	<20
Conteúdo de cinzas		%
I	Perifíton inorgânico	>75
II	Perifíton inorgânico-orgânico	50-75
III	Perifíton orgânico-inorgânico	25-50
IV	Perifíton orgânico	<25
Clorofila a		%
I	Perifíton autotrófico	>0,60
II	Perifíton auto-heterotrófico	0,25-0,60
III	Perifíton hetero-autotrófico	0,10-0,25
IV	Perifíton heterotrófico	<0,10

Tabela 2 Variação das médias das variáveis abióticas e clorofila *a* da água (n=3) registradas no decorrer do processo sucessional. As últimas colunas referem-se aos resultados da análise de variância ANOVA one-way ($p < 0,05$).

Variável	Dia de colonização							ANOVA	
	2	4	7	11	16	22	29	F	<i>p</i>
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	4,40 ^{ab}	3,03 ^{abc}	5,93 ^a	2,67 ^{bc}	2,73 ^{bc}	1,10 ^c	0,67 ^c	8,342	0,001
Temperatura do ar (°C)	25,07 ^d	27,10 ^{cd}	29,67 ^{ab}	27,43 ^{bc}	31,33 ^a	27 ^{cd}	22,67 ^e	35,744	0,000
Temperatura da água (°C)	24,80 ^{bc}	27,77 ^{abc}	28,30 ^{ab}	26,7 ^{bc}	30,57 ^a	27,6 ^{abc}	24,30 ^c	8,270	0,001
Profundidade (m)	0,70 ^b	0,70 ^b	0,66 ^b	0,70 ^b	0,68 ^b	0,66 ^b	1,00 ^a	20,946	0,000
Transparência média (m)	0,41 ^{bc}	0,37 ^c	0,38 ^c	0,40 ^{bc}	0,43 ^b	0,49 ^a	0,41 ^{bc}	21,326	0,000
Zona eufótica (m)	0,70 ^b	0,70 ^b	0,66 ^b	0,70 ^b	0,68 ^b	0,66 ^b	1,00 ^a	20,946	0,000
Turbidez (NTU)	28,39 ^b	32,03 ^a	29,12 ^{ab}	24,76 ^c	21,47 ^{cd}	19,44 ^d	18,96 ^d	48,169	0,000
Sólidos totais suspensos (mg.L ⁻¹)	27,47 ^{abc}	32,00 ^a	28,44 ^{ab}	27,33 ^{abc}	21,11 ^c	21,78 ^{bc}	23,33 ^{bc}	7,888	0,001
Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	973,00 ^e	1032,67 ^{cd}	1053,00 ^{bc}	986,67 ^{de}	1117,33 ^a	1102,33 ^{ab}	784,00 ^f	90,724	0,000
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	9,66 ^a	9,54 ^a	8,03 ^{ab}	9,45 ^a	10,66 ^a	7,63 ^{ab}	5,01 ^b	7,818	0,001
pH	8,61 ^b	8,81 ^{ab}	8,66 ^{ab}	8,84 ^a	8,65 ^{ab}	8,32 ^c	8,03 ^d	45,765	0,000
Alcalinidade (mEq.L ⁻¹)	1,84 ^{bc}	1,80 ^{bc}	1,74 ^c	2,65 ^a	2,75 ^a	2,86 ^a	2,05 ^b	62,819	0,000
Clorofila <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	43,06 ^{ab}	41,58 ^{ab}	52,87 ^{ab}	60,89 ^{ab}	43,07 ^{ab}	64,82 ^a	40,10 ^b	4,043	0,015
P-PT (µg.L ⁻¹)	127,76 ^b	149,92 ^{ab}	149,45 ^{ab}	144,03 ^{ab}	123,99 ^b	147,56 ^{ab}	169,95 ^a	5,939	0,003
P-PO ₄ (µg.L ⁻¹)	1,37 ^a	0,49 ^a	ND	0,66 ^a	0,53 ^a	1,31 ^a	0,65 ^a	0,863	0,544
N-NO ₃ (µg.L ⁻¹)	12,89 ^b	12,55 ^b	11,63 ^b	15,86 ^b	6,57 ^b	20,51 ^b	122,22 ^a	106,485	0,000
N-NO ₂ (µg.L ⁻¹)	1,00 ^b	0,52 ^b	0,35 ^b	0,21 ^b	0,24 ^b	0,74 ^b	5,51 ^a	40,679	0,000
N-NH ₄ (µg.L ⁻¹)	19,42 ^c	19,31 ^c	16,45 ^c	21,21 ^c	14,34 ^c	113,82 ^b	225,48 ^a	38,326	0,000
Si-SiH ₄ O ₄ (mg.L ⁻¹)	4,45 ^a	4,52 ^a	4,27 ^a	3,40 ^b	2,29 ^c	1,84 ^{cd}	1,48 ^d	81,797	0,000

*Médias seguidas de letras iguais para uma mesma variável não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 3 Correlações das variáveis abióticas com os componentes principais 1 e 2 da ACP.

Variável	Código	Componentes principais	
		1	2
Velocidade do vento	Vent	0,580	-0,295
Pluviosidade	Pluv	-0,964	-0,184
Radiação incidente	Rad	0,767	-0,449
Radiação subaquática	RadSub	0,558	-0,346
Temperatura do ar	Tar	0,769	0,299
Temperatura da água	Tag	0,627	0,399
Profundidade	Prof	-0,931	-0,274
Transparência do Secchi	Sech	-0,209	0,916
Zona eufótica	ZE	-0,931	-0,274
Salinidade	Sal	0,955	0,213
Condutividade elétrica	CE	0,808	0,498
Sólidos totais suspensos	STS	0,395	-0,790
Turbidez	Turb	0,634	-0,711
Potencial hidrogeniônico	pH	0,906	-0,232
Alcalinidade	Alca	0,012	0,915
Clorofila <i>a</i> da água	Claf	0,213	0,597
Oxigênio dissolvido	OD	0,892	0,070
Nitrato	N-NO ₃	-0,976	-0,174
Nitrito	N-NO ₂	-0,966	-0,215
Nitrogênio amoniacal	N-NH ₄	-0,982	0,137
Fósforo total	PT	-0,746	-0,260
Ortofosfato	P-PO ₄	-0,123	0,432
Ortossilicato	Si-SiH ₄ O ₄	0,691	-0,660
Varição explicada		54,42%	20,59%

*Números em negrito indicam maiores correlações com os componentes principais.

Tabela 4 Classificação do perífíton quanto à massa seca, cinzas e clorofila *a* (Lakatos, 1989) no decorrer do processo sucessional nos três tratamentos (C, T30% e T50%).

Dia de colonização		Massa seca		Cinzas		Clorofila <i>a</i>	
		g.m ⁻²	Tipo	%	Tipo	%	Tipo
C	2	0,14	III	0,00	IV	0,17	III
	4	0,53	III	28,27	III	0,03	IV
	7	2,74	III	61,40	II	0,01	IV
	11	2,48	III	63,37	II	0,03	IV
	16	3,72	III	64,43	II	0,02	IV
	22	5,74	III	61,57	II	0,08	IV
	29	5,04	III	66,11	II	0,08	IV
T30%	2	0,16	III	0,00	IV	0,12	III
	4	0,55	III	14,21	IV	0,04	IV
	7	2,73	III	64,91	II	0,02	IV
	11	2,41	III	63,90	II	0,03	IV
	16	3,63	III	61,99	II	0,05	IV
	22	5,20	III	61,76	II	0,12	III
	29	4,98	III	62,46	II	0,15	III
T50%	2	0,19	III	0,00	IV	0,07	IV
	4	0,66	III	45,81	III	0,04	IV
	7	2,73	III	71,16	II	0,02	IV
	11	2,24	III	67,14	II	0,04	IV
	16	3,35	III	75,61	I	0,05	IV
	22	4,60	III	55,75	II	0,13	III
	29	3,93	III	63,67	II	0,17	III

Tabela 5 Síntese dos resultados da ACC realizada a partir dos dados abióticos e bióticos.

	Eixo 1	Eixo 2
Autovalores (λ)	0,015	0,001
Porcentagem de variância explicada (%)	75,8	3,0
Porcentagem de variância acumulada (%)	75,8	78,7
Correlação de Pearson (espécie-ambiente)	0,961	0,508
Correlação de Kendall (espécie-ambiente)	0,838	0,286
Teste Monte Carlo (p)	Autovalores	0,901
	Correlações espécie-ambiente	0,581

Tabela 6 Correlações de Pearson, coeficientes canônicos e correlações “intra-set” das variáveis ambientais com os eixos 1 e 2 da ACC.

Variável	Correlação		Coeficiente canônico		Correlações “intra-set”	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
RadSub	0,687	0,247	0,842	3,969	0,546	0,659
pH	0,936	-0,584	-0,644	16,205	0,808	-0,464
OD	0,838	-0,644	0,230	-2,287	0,624	-0,420
N-NO ₃	-0,825	0,674	0,032	-0,356	-0,760	0,389
N-NO ₂	-0,794	0,731	-0,463	7,956	-0,660	0,529
N-NH ₄	-0,962	0,558	-0,016	-0,003	-0,930	0,272
PT	-0,646	0,484	0,001	-0,009	-0,350	0,067
Si-SiH ₄ O ₄	0,887	-0,055	0,543	-1,981	0,843	0,236

*Números em negrito indicam maiores correlações com os eixos.

Tabela 7 Correlações de Pearson dos dados de biomassa da comunidade com os eixos 1 e 2 da ACC.

Variável biótica	Código	Eixo 1	Eixo 2
Massa seca	MS	-0,811	0,024
Massa seca livre de cinzas	MSLC	-0,834	0,065
Cinzas	C	-0,783	0,012
Clorofila <i>a</i>	Cla	-0,951	0,199
Clorofila <i>b</i>	Clb	-0,979	0,367
Carotenóides	Car	-0,963	0,248
Feopigmentos	Feo	-0,924	0,176
Clorofila <i>a</i> : feopigmentos	Cla:Feo	0,369	0,295
Índice autotrófico	IA	0,790	0,095

*Números em negrito indicam maiores correlações com os eixos.

FIGURAS

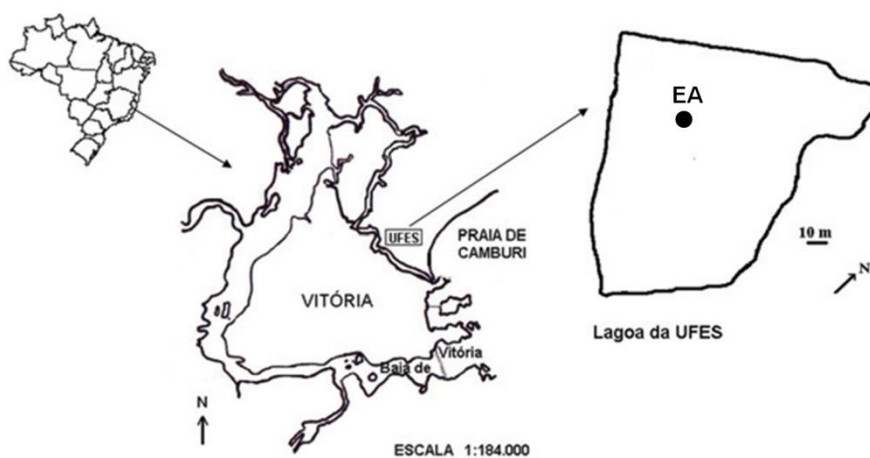


Fig. 1 Mapa de localização da lagoa da UFES, município de Vitória, estado do Espírito Santo, litoral Sudeste do Brasil e localização da Estação Amostral (EA) na lagoa (modificado de Martins & Fernandes, 2007).

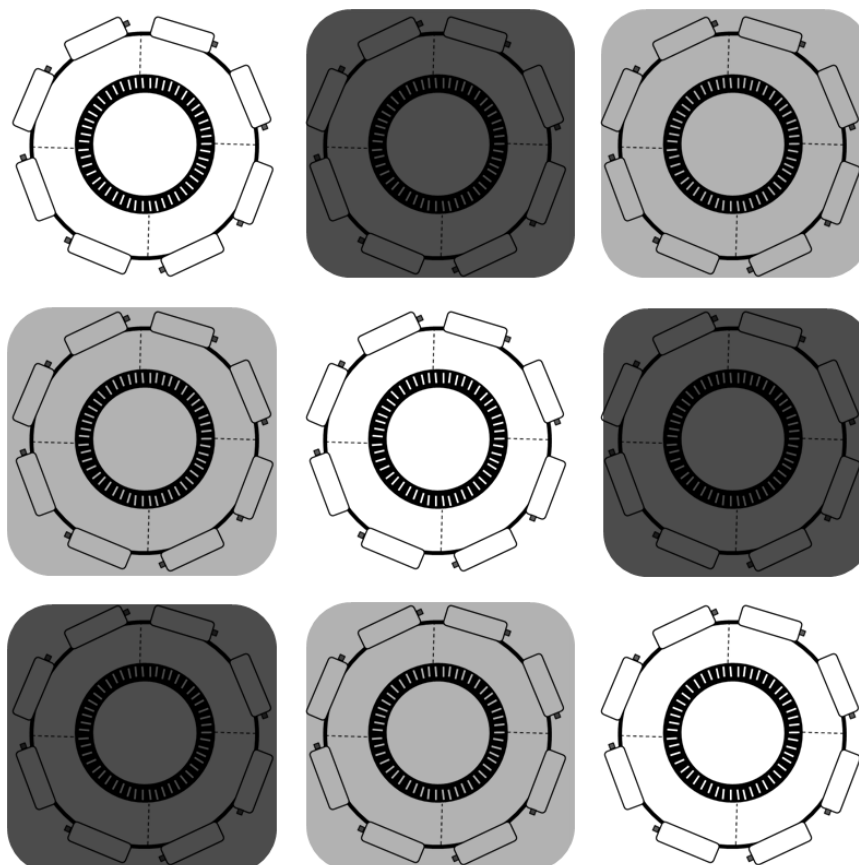


Fig. 2 Esquema da estrutura experimental (vista superficial) com a distribuição dos três tratamentos com diferentes níveis de sombreamento na estação amostral da lagoa da UFES.

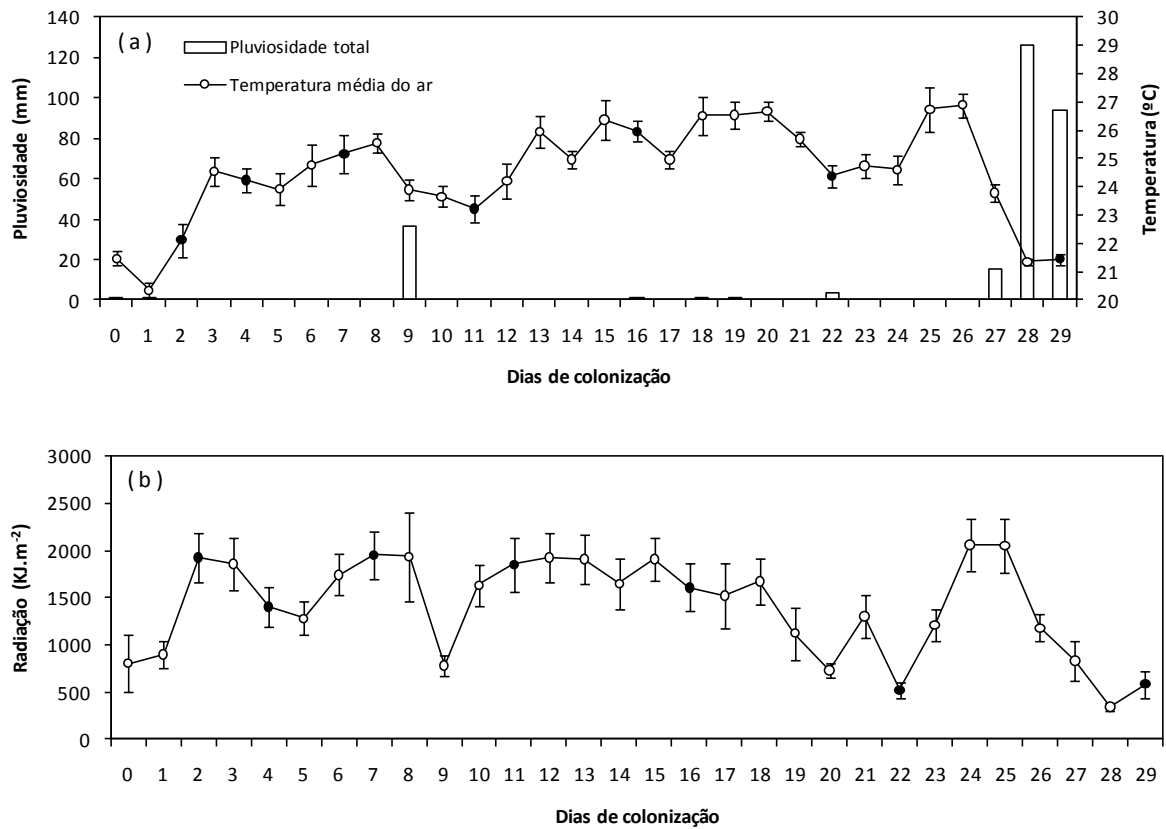


Fig. 3 Variação temporal dos valores médios diários (n=24) da temperatura do ar, acompanhados do erro padrão e totais diários de pluviosidade (a) e valores médios diários (n=13) da radiação solar e erro padrão (b) no decorrer do período estudado, com destaque para os dias de amostragem (círculos cheios). As médias e erro padrão para a radiação foram calculados com base nas medidas realizadas dentro do fotoperíodo do dia.

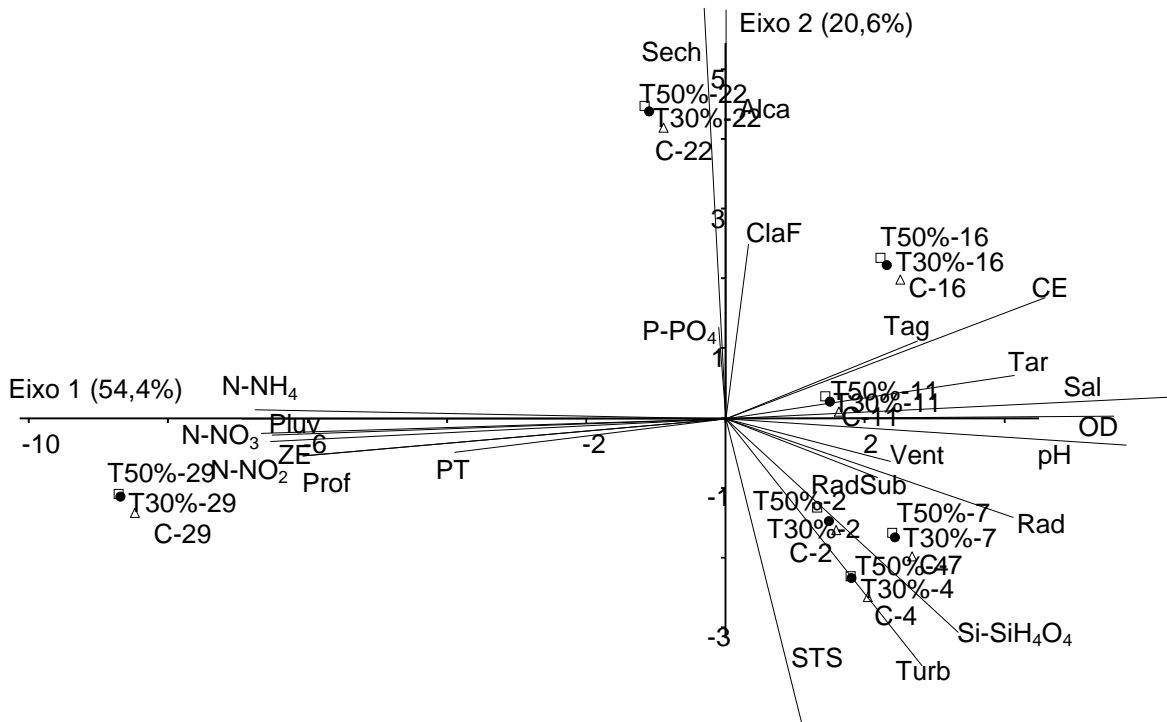


Fig. 4 Biplot da ACP para as médias das variáveis abióticas com ordenação dos três tratamentos na lagoa da UFES no decorrer da sucessão. (Δ =Controle (C), \bullet =Tratamento 30% (T30%), \square =Tratamento 50% (T50%), números=dias de colonização). Códigos das variáveis e correlações com os eixos, conforme Tabela 3.

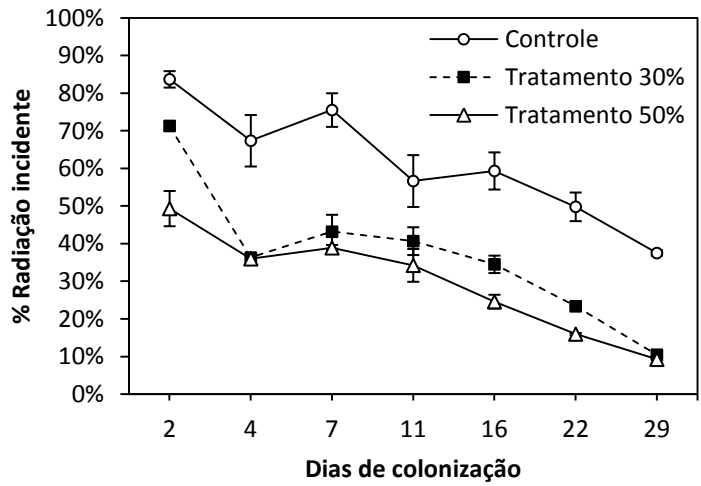


Fig. 5 Variação temporal dos valores médios ($n=3$, \pm erro padrão) da porcentagem de radiação incidente que chega a subsuperfície no decorrer do período estudado nos três tratamentos.

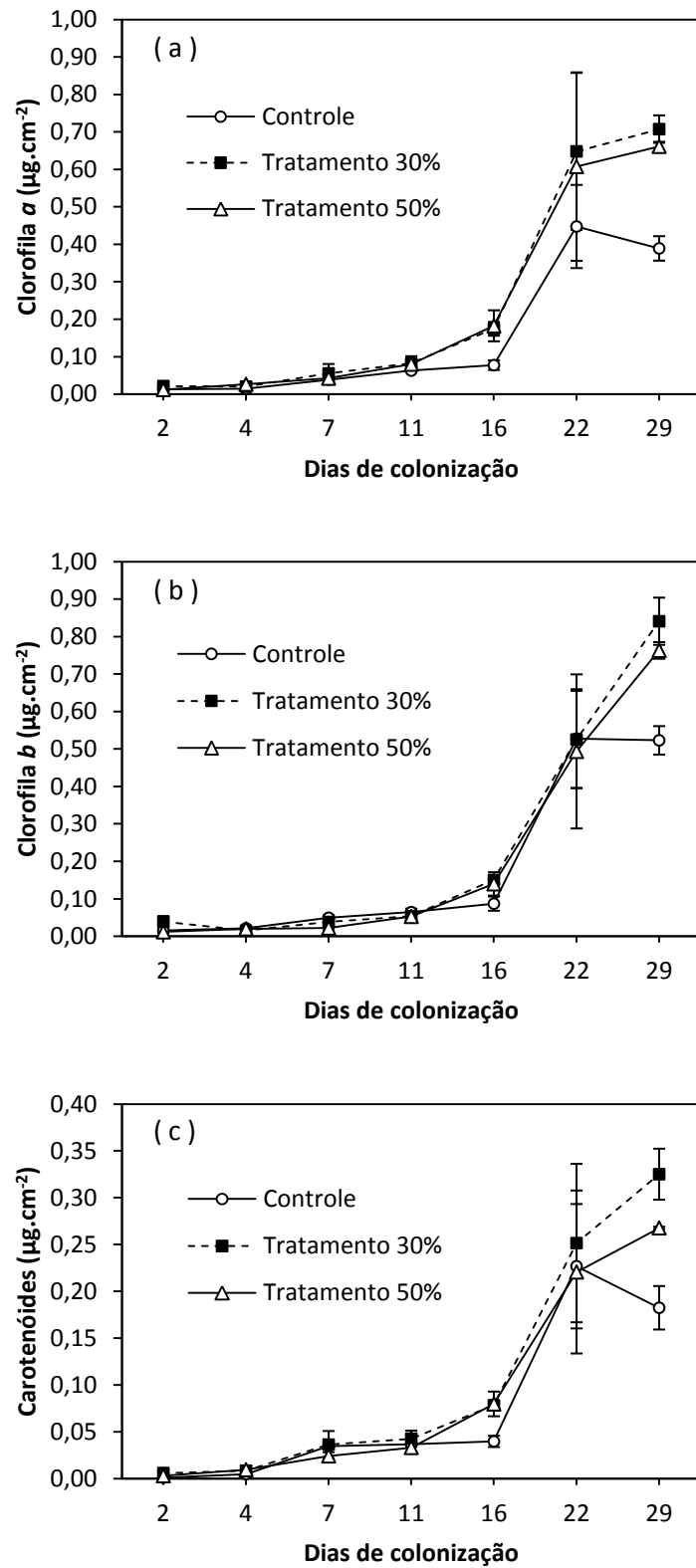


Fig. 6 Variação sucessional dos valores médios ($n=3$, \pm erro padrão) da concentração de clorofila *a* (a), clorofila *b* (b) e carotenóides (c) nos três tratamentos.

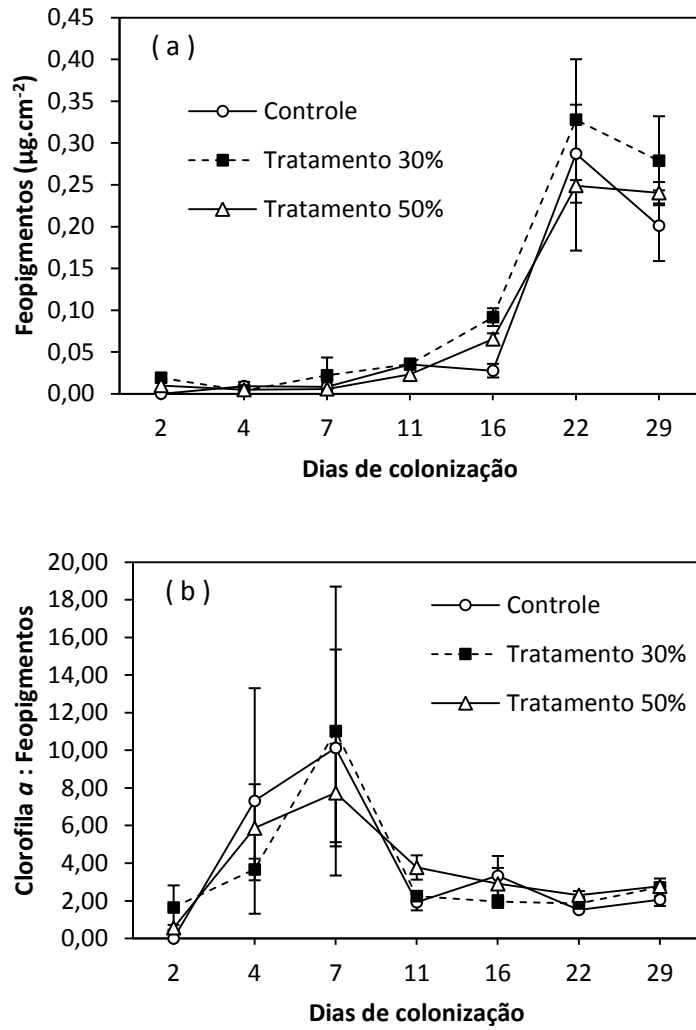


Fig. 7 Variação sucessional dos valores médios ($n=3$, \pm erro padrão) da concentração de feopigmentos (a) e da razão clorofila a : feopigmentos (b) nos três tratamentos.

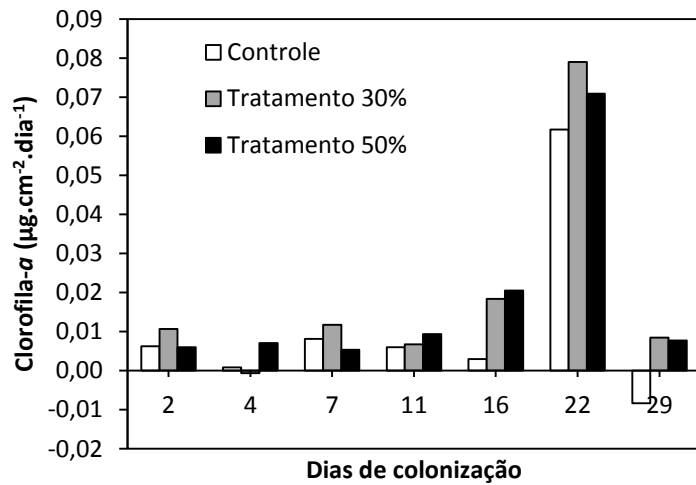


Fig. 8 Variação sucessional dos valores médios ($n=3$) da taxa de acumulação de biomassa fotossintética nos três tratamentos.

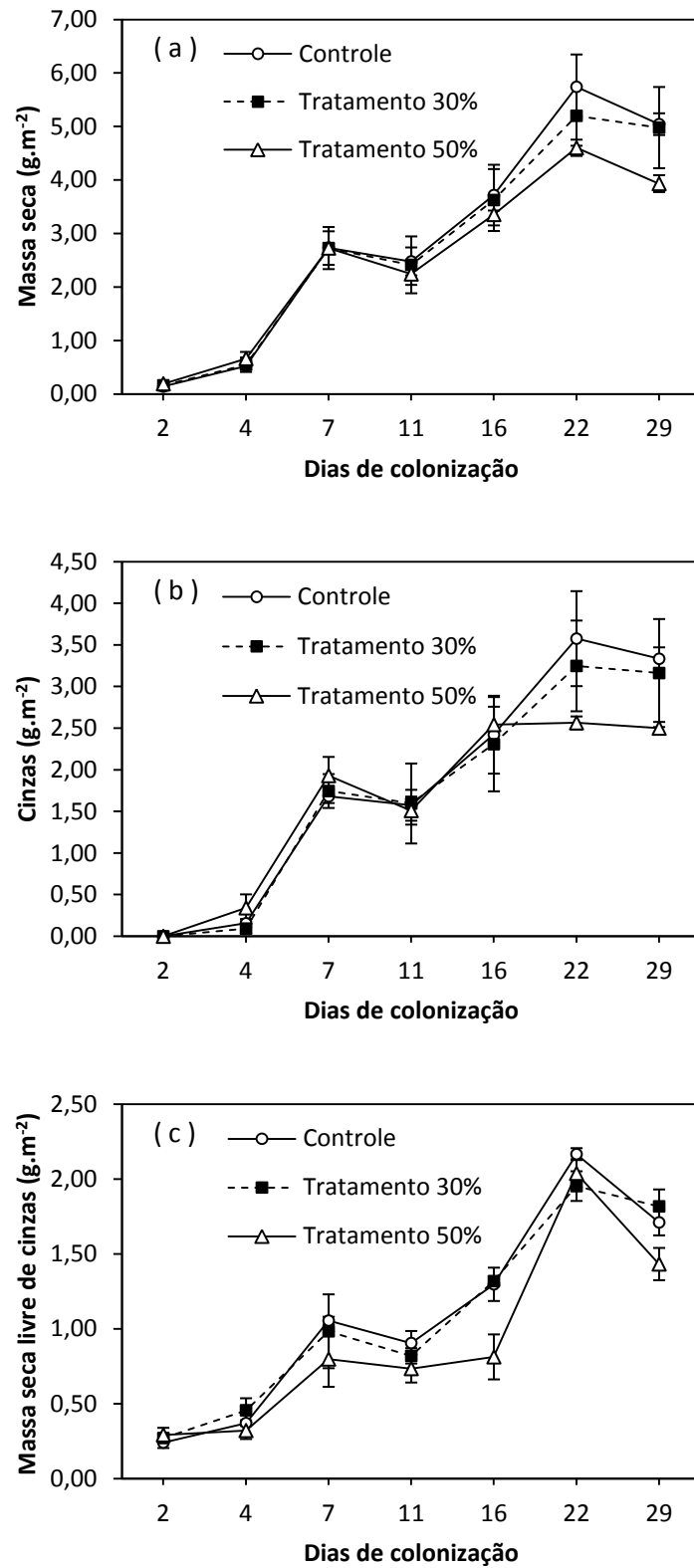


Fig. 9 Variação sucessional dos valores médios ($n=3$, \pm erro padrão) de massa seca (a), cinzas (b) e massa seca livre de cinzas (c) nos três tratamentos.

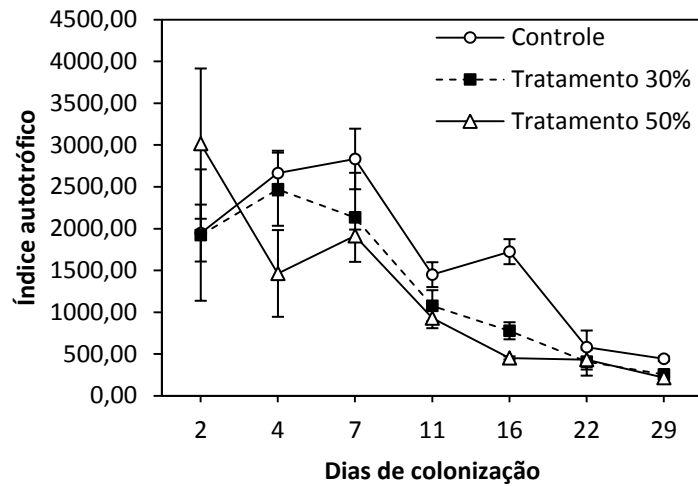


Fig. 10 Variação sucessional dos valores médios (n=3, ± erro padrão) do índice autotrófico nos três tratamentos.

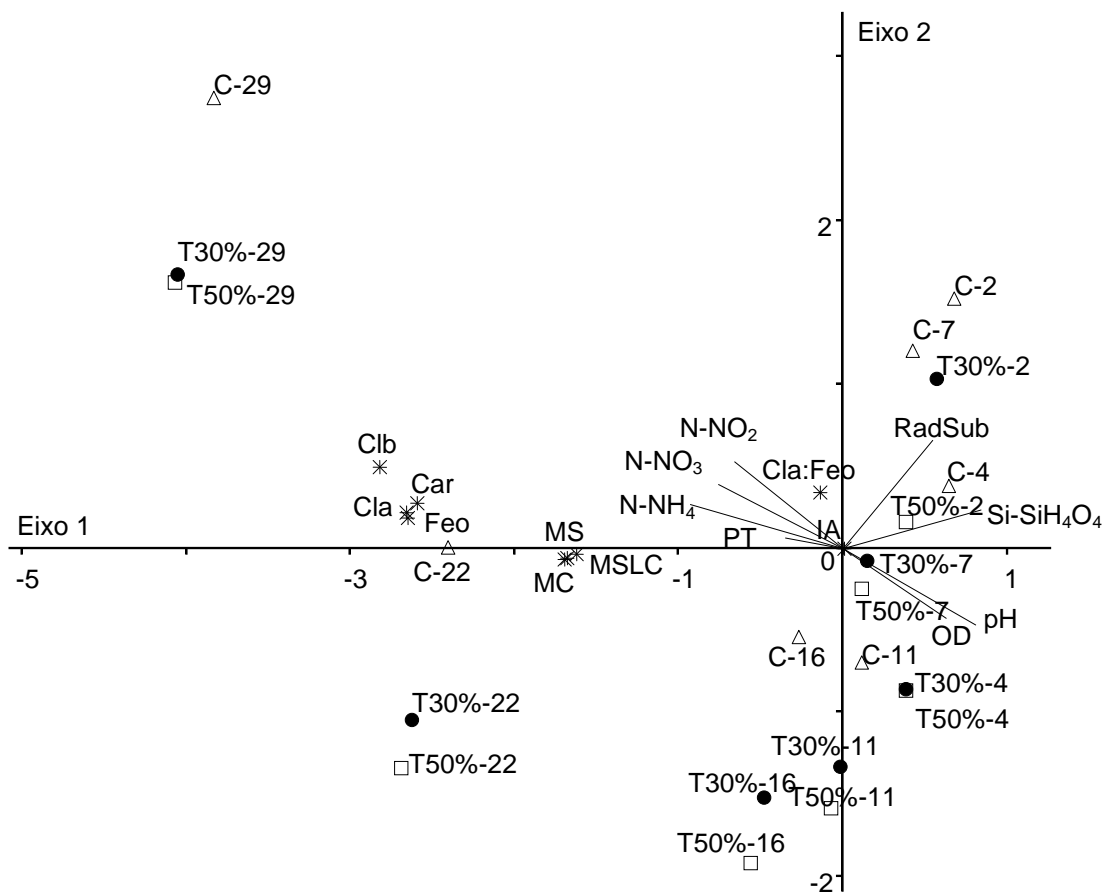


Fig. 11 Ordenação pela ACC dos três tratamentos no decorrer da sucessão da comunidade de algas perifíticas na lagoa da UFES. (Abreviações: OD=oxigênio dissolvido, pH=potencial hidrogeniônico, RadSub=radiação subaquática, N-NH₄=nitrogênio amoniacal, N-NO₂=nitrito, N-NO₃=nitrato, PT=fósforo total, Si-SiH₄O₄=ortossilicato). (Δ=Controle (C), ●=Tratamento 30% (T30%), □=Tratamento 50% (T50%), números=dias de colonização). Códigos e correlações das variáveis bióticas (biomassa) com os eixos, conforme Tabela 7.

7 CONCLUSÕES GERAIS

- A estrutura e dinâmica da comunidade de algas perifíticas na estação amostral da lagoa da UFES apresentaram diferenças significativas no decorrer da sucessão, explicadas principalmente pelos processos autogênicos, os quais foram influenciados secundariamente pelo regime de chuvas e modificações nas variáveis abióticas em curto prazo;
- A estação amostral na lagoa da UFES apresentou pequena profundidade, águas alcalinas, elevados valores de temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, além de baixa transparência, com maiores índices pluviométricos e concentrações de nutrientes nitrogenados e fosfatados registrados nos estágios finais do experimento;
- As porcentagens de radiação incidente na subsuperfície d'água nem sempre apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos sombreados. Apesar disso, estiveram sempre abaixo do tratamento caracterizado pela ausência de atenuação da luz, o que refletiu nos efeitos dos mesmos sobre a estrutura da comunidade de algas perifíticas no decorrer do experimento;
- O padrão sucessional da comunidade de algas perifíticas quanto à riqueza, densidade, diversidade, equitabilidade, concentração de pigmentos fotossintéticos e biomassa foi semelhante entre os tratamentos. Entretanto, em termos absolutos, a estrutura da comunidade apresentou respostas sensíveis às diferentes condições luminosas, principalmente nos estágios mais tardios de sucessão;
- Riqueza, densidade total e massa seca livre de cinzas apresentaram valores menores sob baixas intensidades luminosas, enquanto os valores das concentrações de pigmentos fotossintetizantes foram maiores sob tais condições, indicando limitação no crescimento da comunidade e estabelecimento de um processo de fotoaclimatação em resposta ao maior sombreamento;
- Dos índices biológicos utilizados para classificar o perifíton, somente o de Lakatos baseado na porcentagem de clorofila *a* e o índice autotrófico permitiram distinguir os efeitos dos tratamentos sobre a comunidade, sendo que sob condições sombreadas o perifíton foi classificado como hetero-

autotrófico e sob maiores irradiâncias como heterotrófico, reforçando a ocorrência de fotoaclimatação devido ao maior sombreamento;

- Em escala sucessional, a riqueza de táxons foi maior nos estágios iniciais com posterior declínio e estabilização nos estágios finais, estando este comportamento relacionado principalmente ao aumento da competição por recursos (luz, nutrientes e espaço) na matriz perifítica devido o aumento da densidade de organismos no decorrer da sucessão;
- Densidade e biomassa apresentaram padrão semelhante de variação temporal entre si com pico máximo após três semanas de colonização (favorecido pela maior disponibilidade de nutrientes) e leve declínio no último dia (ação do distúrbio gerado pela precipitação), evidenciando que o processo autogênico sucessional foi influenciado por fatores alogênicos em curto prazo;
- Considerando o desenvolvimento da comunidade, as clorofíceas apresentaram maior contribuição nos estágios iniciais, sendo substituídas pelas diatomáceas nos estágios intermediários, e pelas cianobactérias nos estágios finais. Apesar do padrão sucessional semelhante entre os tratamentos, clorofíceas e diatomáceas mostraram-se menos tolerantes ao sombreamento do que as cianobactérias, tanto em nível de Classes quanto em nível específico (táxons abundantes);
- As respostas isoladas das principais Classes de algas e dos táxons abundantes registrados no perifíton da lagoa da UFES sob diferentes condições de sombreamento foram mais sensíveis do que àquelas observadas para a comunidade como um todo, denotando que o aparato fotossintético característico de cada grupo algal parece ser determinante para os seus comportamentos ecológicos, uma vez que desempenham funções adaptativas diante das diferentes condições de luminosidade;
- As hipóteses desta pesquisa foram, em grande parte, confirmadas, demonstrando que o perifíton da lagoa da UFES apresenta respostas sensíveis às diferentes intensidades de luz e que sua variação sucessional é explicada principalmente por processos autogênicos. Esses resultados contribuem para o conhecimento da função da luz como fator controlador da estrutura e dinâmica da comunidade em sistemas lênticos tropicais.

ANEXOS