

# TAXAS FOTOSSINTÉTICAS E RESPIRATÓRIAS DE MACROALGAS DO GÊNERO *Bostrychia* (RHODOMELACEAE, RHODOPHYTA)

CUNHA, S.R.<sup>1</sup> & N.R. DUARTE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Ecologia da Vegetação Costeira - CTTMar/UNIVALI, Itajaí, SC. e-mail: simone@cttmar.univali.br

<sup>2</sup> Curso de Pós-graduação em Botânica, UFSC, Florianópolis, SC

## RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a influência da irradiância sobre as taxas fotossintéticas de *Bostrychia calliptera*, *Bostrychia pinnata*, *Bostrychia radicans* e *Bostrychia montagnei*. As algas foram coletadas em troncos de árvores de manguezal na porção mesohalina da Baía da Babitonga (SC) e foram mantidas em laboratório com água do mar filtrada enriquecida com Meio Conway, em aeração contínua, com temperatura de 20°C, fotoperíodo de 16:8h (claro:escuro), em irradiância de  $\approx 40 \mu\text{mol de fótons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . As curvas de produção versus irradiância (curvas PI) foram determinadas para todas as espécies em salinidade 20. Curvas PI adicionais foram efetuadas para *B.calliptera* em salinidades 10 e 30 e *B.montagnei* em salinidade 30. As taxas fotossintéticas e respiratórias foram estimadas através da alteração na concentração de oxigênio dissolvido (oxímetro YSI53) em frascos de DBO contendo 0,015-0,030g de peso seco da macroalga, e aproximadamente 250mL de água do mar filtrada e diluída para a salinidade desejada, incubados por duas horas, em irradiâncias variando de 0 a 1000  $\mu\text{mol de fótons m}^{-2}\text{s}^{-1}$  e temperatura média de 23°C. Os parâmetros das curvas PI (produção máxima=Pmax; respiração=Resp; eficiência fotossintética=a) foram estimados a partir do ajuste de 3 modelos tradicionais aos dados observados através da minimização da soma dos quadrados dos resíduos e o modelo de Webb *et al.*(1974) foi o mais adequado. A irradiância de saturação ( $I_k$ ), foi determinada por:  $I_k = P_{\text{max}}/a$ . A irradiância de compensação ( $I_c$ ) foi estimada através de manipulação algébrica da equação ajustada. Os maiores valores de Pmax foram observados para *B.calliptera* na salinidade 30 e para *B.pinnata* e *B.radicans*, na salinidade 20. Os maiores valores de eficiência fotossintética (a) foram observados para *B.calliptera* na salinidade 30 e *B.pinnata* na salinidade 20 e os maiores valores de respiração para *B.radicans* e *B.montagnei* da salinidade 20 e *B.calliptera* na salinidade 30. O aumento da salinidade proporcionou uma elevação da produção fotossintética máxima, tanto para *B.calliptera* como para *B.montagnei*. Comparando-se diferentes espécies na salinidade 20, *B.radicans* apresentou a maior produção máxima, seguida por *B.pinnata*, *B.calliptera* e por último, *B.montagnei*. Os valores de Irradiância de compensação e de saturação observados foram baixos e a eficiência fotossintética elevada para todas as algas estudadas, o que permite caracteriza-las como plantas de sombra. Apesar disto estas algas não apresentaram fotoinibição nas irradiâncias testadas, o que indica ampla tolerância a variações de irradiância, normalmente observadas em manguezais.

**Palavras chave:** fotossíntese, macroalgas, curvas de produção versus irradiância, *Bostrychia*

## PHOTOSYNTHETIC AND RESPIRATORY RATES OF SEAWEEDS FROM GENUS *Bostrychia* (RHODOMELACEAE, RHODOPHYTA)

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of irradiance on photosynthetic rates of *Bostrychia calliptera*, *Bostrychia pinnata*, *Bostrychia radicans* and *Bostrychia montagnei*. These algae were collected in mangrove trees on mesohaline area of Babitonga Bay (SC) and were kept in laboratory

under continuous aeration, 20°C, photoperiod of 16:8h, irradiance »40µmol photons m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>. The production versus irradiance curves (PI Curves) were measured for all 4 species in salinity 20. Additional PI curves were measured for *B.calliptera* in salinities 10 and 30. Photosynthetic and respiratory rates were estimated using variations on dissolved oxygen concentration (YSI53 oximeter) in BOD flasks with 0.015 to 0.030g dry weigh of the algae and about 250 mL of filtered seawater, diluted to desired salinity. Incubations expended 2 hour and irradiances ranged from 0 to 1000 µmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> and temperature about 23°C. The curve parameters (maximum production=Pmax; Respiration=resp; photosynthetic efficiency=a) were estimated using three usual models. The model which adjusted to observed data with minimum summed square of residues was choose for all estimations. Saturating irradiance (I<sub>k</sub>) was estimated by: I<sub>k</sub>=Pmax/a. Compensating irradiance (I<sub>c</sub>) was estimated by algebraic manipulation of adjusted equation. The higher values of Pmax were observed for para *B.calliptera* in salinity 30 and for *B.pinnata* and *B.radicans* in salinity 20. Higher values of photosynthetic efficiency were observed for *B.calliptera* in salinity 30 and *B.pinnata* in salinity 20. Respiration values were higher for *B.radicans* and *B.montagnei* in salinity 20 and *B.calliptera* in salinity 30. Increasing salinity increased photosynthetic rates for *B.calliptera* and *B.montagnei*. In the same salinity, maximum production was observed for *B.radicans*, followed by *B.pinnata*, *B.calliptera*. Values of saturating irradiance and compensating irradiance were very low and values of photosynthetic efficiency were very high for all seaweed in this work, characterizing them as shadow plants. Though the seaweeds did not show photoinhibition, what suggests great tolerance to irradiances variations, as normally observed in mangroves.

**Key-words:** photosynthesis, seaweed, PI Curves, *Bostrychia*

## INTRODUÇÃO

As margens da Baía da Babitonga, no litoral norte catarinense são ocupadas por extensos manguezais que proporcionam um substrato adequado à ocupação por algas epifíticas que colonizam as porções intermareais dos troncos e dos sistemas radiculares das árvores (Cunha 2001). A biomassa destas algas pode ser elevada, e em áreas favoráveis pode chegar a 200 g m.s. (massa seca) m<sup>-2</sup> de substrato. Na região mesohalina da baía, os troncos das árvores do manguezal são colonizados principalmente pelas algas vermelhas *Bostrychia calliptera*, *Bostrychia pinnata*, *Bostrychia radicans* e *Bostrychia montagnei*. Nos pneumatóforos predominam as algas verdes, *Cladophoropsis membranacea* e *Bloodleopsis pusilla* e a alga vermelha, *Bostrychia montagnei*.

As algas intermareais, devido a emersão durante a maré baixa, experimentam uma vari-

idade de condições potencialmente estressantes, como alta intensidade luminosa, dessecação, estresse osmótico, entre outros (Davison & Pearson, 1996). As algas de manguezal lidam com um problema adicional que é a atenuação da luz pela copa das árvores. Portanto, estão normalmente sujeitas a um ambiente com baixa disponibilidade de luz, mas podem receber "flashes" de alta irradiância devido à movimentação da copa.

Considerando a variabilidade ambiental a que as algas de manguezal estão sujeitas, a determinação da influência da irradiância sobre as taxas fotossintéticas e respiratórias desta algas é uma etapa fundamental para a quantificação da produção destas algas e para a determinação da contribuição deste compartimento para a produtividade primária do manguezal. Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da irradiância sobre as taxas fotossintéticas de *Bostrychia calliptera*, *Bostrychia pinnata*, *Bostrychia radicans* e *Bostrychia montagnei*.

## METODOLOGIA

### Coleta e manutenção das algas

As algas utilizadas nos experimentos de produção primária, *Bostrychia calliptera*, *Bostrychia pinnata*, *Bostrychia radicans f. radicans* e *Bostrychia montagnei*, foram coletadas em troncos de árvores de manguezal na porção meso-halina da Baía da Babitonga, no litoral norte de Santa Catarina (Figura 1) no período de fevereiro de 1998 a julho de 1999, durante a maré baixa. O material foi lavado com água do ambiente e conduzido umedecido ao laboratório, onde foi lavado com água do mar filtrada e diluída para a salinidade medida no momento da coleta. Este material, sempre imerso em água do mar filtrada, foi separado por espécie, limpo de sedimentos, material aderido e epífitas.

Após a limpeza, as algas foram mantidas em frascos Erlenmeyer de 1000 ml com água do mar filtrada (porosidades 25; 5 e 0,5 µm), ajustada com água destilada até as salinidades 10, 20 e 30, enriquecida com Meio Conway, em aeração contínua, com temperatura de 20 ° C, fotoperíodo de 16:8 h (claro:escuro), em irradiância de aproximadamente 40 µmol de fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Semanalmente o meio de cultivo foi renovado, as algas foram lavadas com água do mar na mesma salinidade da manutenção e foram retirados os ramos mortos.

### Determinação das taxas

A produção líquida e a respiração foram estimadas através de medições da alteração na concentração de oxigênio dissolvido (oxímetro YSI 53) em frascos de DBO contendo entre 0,015 e 0,030 g peso seco da macroalga, e aproximadamente 250mL de água do mar filtrada e ajustada com água destilada até a salinidade desejada, incubados no claro e no escuro, por duas horas. As incubações para a determinação das curvas de produção versus irradiância (Curvas PI) de todas as espécies foram efetuadas na salinidade 20, que

foi a salinidade predominante nos momentos de coleta das algas para incubações. Adicionalmente, para *B. calliptera* foram também efetuadas curvas PI em salinidade 10 e 30.

A incubadora utilizada proporciona um nível de irradiância de até 1000 µmol de fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. A luz é atenuada pela água da incubadora, e pelos frascos de incubação até 3 µmol de fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. A irradiância recebida por cada frasco foi medida com Irradiômetro Li-cor. Para cada incubação foram utilizadas 2 garrafas por irradiância e 3 garrafas escuras. A temperatura das incubações variou entre 22 e 23°C. Para o cálculo da produção de oxigênio utilizou-se a seguinte equação:

$$PL = (((O_{2i} - O_{2f}) * \text{Volume}) / \text{peso}) / \text{tempo incubação}$$

PL = Produção líquida de oxigênio por peso seco da alga por tempo (mg O<sub>2</sub> g ms<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>);

O<sub>2i</sub> e O<sub>2f</sub> = concentração inicial e final de oxigênio no frasco (mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>);

A respiração foi estimada medindo-se a produção líquida negativa nas garrafas escuras. Os resultados de produção líquida e respiração foram expressos em miligramas de oxigênio por grama de massa seca por hora (mg O<sub>2</sub> g ms<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>).

Os parâmetros das curvas PI (produção máxima = Pmax, respiração = Resp e eficiência fotossintética = a) foram estimados a partir do ajuste de modelos aos dados observados através da minimização da soma dos quadrados dos resíduos (SQR). Foram testados 3 modelos e foi selecionado o modelo proposto por Webb *et al.* (1974), tradicionalmente utilizado para simular a curva PI, devido à sua melhor representação dos dados observados:

$$PL = P_{max} * (1 - \exp(-a * \text{Luz} / P_{max})) - \text{Resp}$$

PL = Produção fotossintética líquida, em mg O<sub>2</sub> g ms<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>;

Pmax: Produção máxima, em mg O<sub>2</sub> g ms<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>;

Resp: Respiração, em mg O<sub>2</sub> g ms<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>;

a = eficiência fotossintética, em mg O<sub>2</sub> g ms<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> por µmol de fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>;

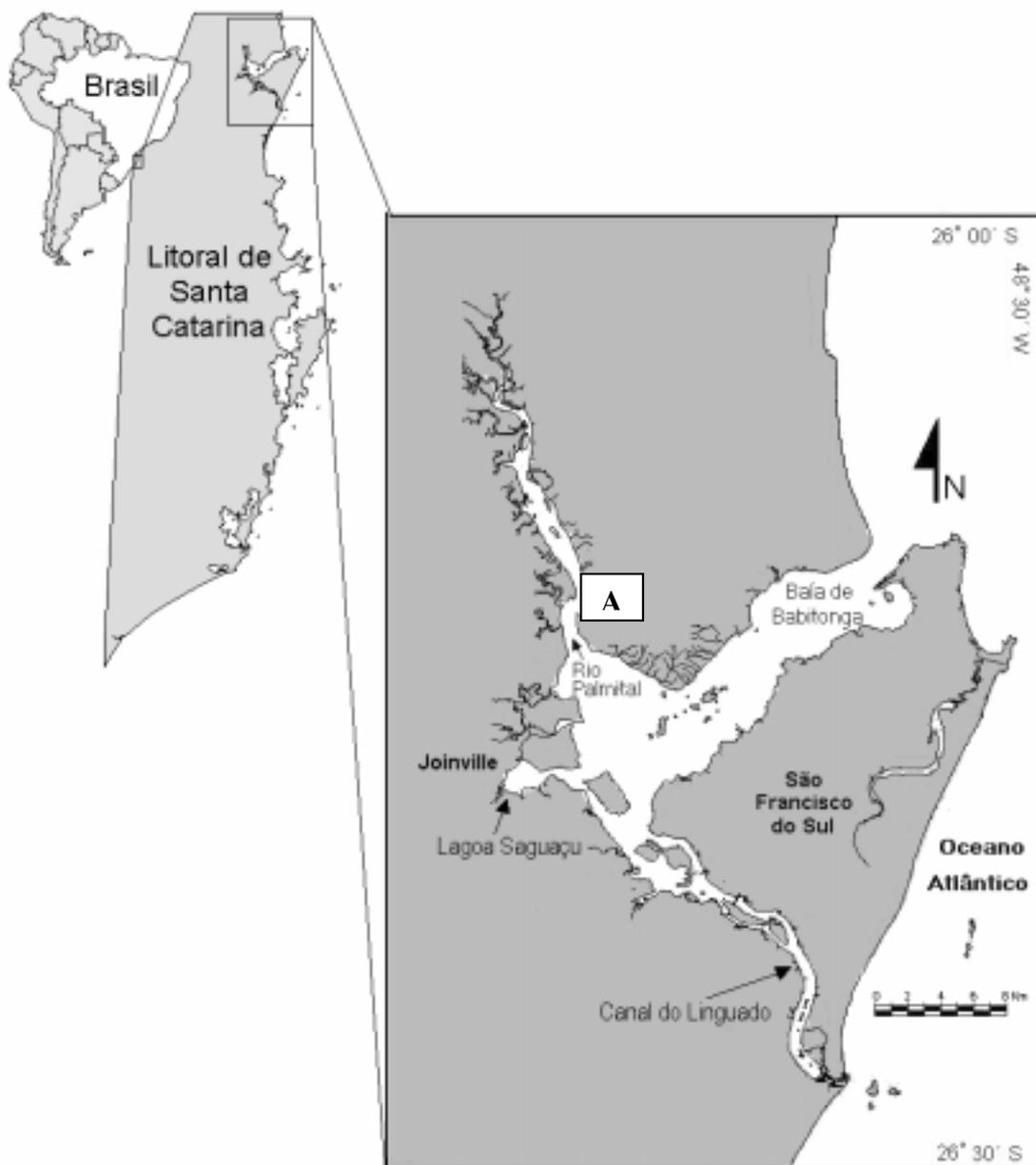


Figura 1: Baía da Babiônica, SC, com a localização da área (A) onde foram coletadas as algas para o experimento.

Luz = irradiância, em  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

A irradiância de saturação ( $I_k$ ), foi determinada como uma taxa entre dois parâmetros da curva, a e  $P_{\text{max}}$  segundo a equação:  $I_k = P_{\text{max}}/a$ . A irradiância de compensação ( $I_c$ ) foi estimada através de manipulação algébrica da equação ajustada (i.e.:  $PL=0$ ).

As curvas PI de diferentes espécies e salinidades foram comparadas através de um teste de Fisher tradicionalmente utilizado para a comparação de modelos de crescimento (Schnute, 1981).

## RESULTADOS

Os ajustes do modelo de Webb *et al.* (1974) aos dados de produção *versus* irradiância

(curvas PI) para cada espécie e cada salinidade podem ser observados nas Figuras 2 e 3. A comparação entre as diferentes curvas PI, através do teste de Fisher para as perdas (Tabela 1), evidenciou que todas as curvas PI foram diferentes para uma mesma espécie sujeita a diferentes salinidades (que foi o caso de *B. calliptera* nas salinidades 10, 20 e 30 e de *B. montagnei* nas salinidades 20 e 30). Diferentes espécies incubadas em uma mesma salinidade também apresentaram curvas PI significativamente diferentes (Tabela 1).

Embora nas comparações entre os ajustes, as curvas PI tenham sido diferentes entre as espécies e salinidades, os parâmetros estimados para as curvas PI através do modelo de Webb *et al.* (1974) apresentaram intervalos de confiança bastante elevados. O parâmetro com os menores intervalos de confiança foi o  $P_{\text{max}}$ ,

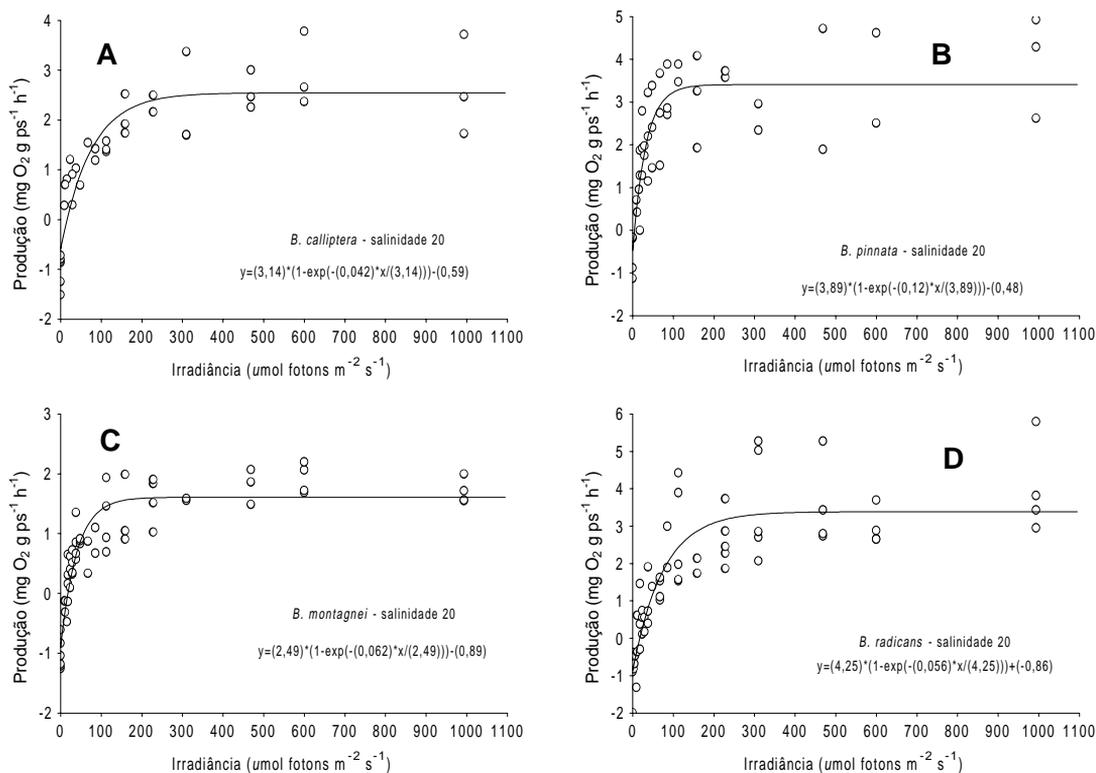


Figura 2: Curvas PI em salinidade 20 para as quatro espécies estudadas. (A) *Bostrychia calliptera*; (B) *B. pinnata*; (C) *B. montagnei*; (D) *B. radicans*. Os pontos representam os dados observados e a linha contínua o ajuste do modelo de Webb, com destaque para os parâmetros estimados.

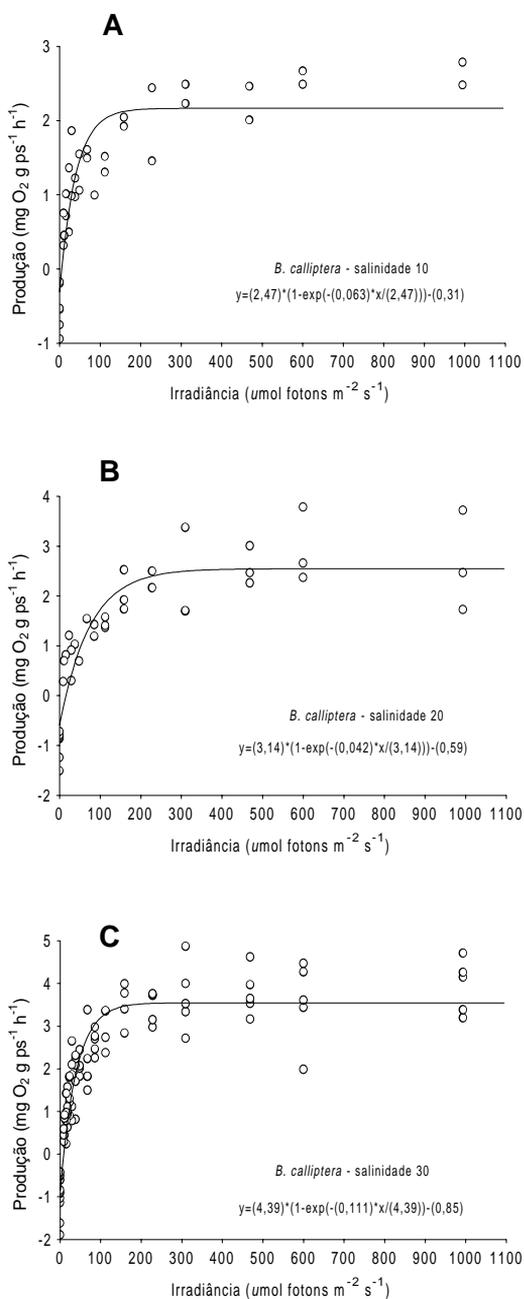


Figura 3: Curvas PI para *Bostrychia calliptera* nas salinidades: (A) 10, (B) 20 e (C) 30. Os pontos representam os dados observados e a linha contínua o ajuste do modelo de Webb, com destaque para os parâmetros estimados.

que apresentou os maiores valores para *B. calliptera* na salinidade 30, *B. pinnata* e *B. radicans*, e os menores valores para *B. calliptera* na salinidade 10 e *B. montagnei* nas duas salinidades.

As algas que apresentaram os maiores valores de eficiência fotossintética (a) foram *B. calliptera* na salinidade 30 e *B. pinnata* na salinidade 20 e as que apresentaram os maiores valores de respiração foram *B. radicans* e *B. montagnei* da salinidade 20 e *B. calliptera* na salinidade 30. O aumento da salinidade proporcionou uma elevação da produção fotossintética máxima, tanto para *B. calliptera* (10 para 30) como para *B. montagnei* (20 para 30). A respiração demonstrou um padrão distinto, diminuindo para *B. calliptera* e aumentando para *B. montagnei* com o aumento da salinidade (Figuras 2 e 3).

Comparando-se diferentes espécies na salinidade 20, *B. radicans* apresentou a maior produção máxima, seguida por *B. pinnata*, *B. calliptera* e por último, *B. montagnei*. A respiração entretanto, não apresentou este padrão, variando bastante entre as espécies. Os maiores valores de irradiância de compensação ( $I_c$ ) e de irradiância de saturação ( $I_k$ ) foram observados para *B. radicans* e *B. calliptera* nas salinidades 20. O valor de  $I_c$  para *B. montagnei* na salinidade 20 também foi elevado, mas valor de  $I_k$  não foi alto (Figuras 2 e 3). A relação entre produção e respiração (P:R) foi bastante variável, e foi maior para *B. calliptera* em salinidade 10 e *B. pinnata* na salinidade 20. A menor relação P:R foi observada para *B. montagnei* salinidade 20.

## DISCUSSÃO

As curvas de produção versus irradiância (curvas PI) para *Bostrychia calliptera*, *Bostrychia pinnata*, *Bostrychia montagnei* e *Bostrychia radicans* possibilitaram a caracterização destas algas como típicas plantas de sombra, devido à baixa irradiância requerida

Tabela 1: Comparação dos ajustes do modelo de Webb *et al.* (1974) entre as diferentes espécies e salinidades. F = Fisher, p=probabilidade associada ao F, perda global % é o quanto a perda global para o ajuste das duas séries agrupadas é superior à soma das perdas dos ajustes separados para cada série de dados.

Comparações	F	p	Perda global %
<u>Mesma espécie em diferentes salinidades:</u>			
<i>B. calliptera</i> sal 10 x <i>B. calliptera</i> sal 20	2,7	0,052 s	12
<i>B. calliptera</i> sal 10 x <i>B. calliptera</i> sal 30	185,5	0,000 s	453
<i>B. calliptera</i> sal 20 x <i>B. calliptera</i> sal 30	23,2	0,000 s	56
<i>B. montagnei</i> sal 20 x <i>B. montagnei</i> sal 30	8,6	0,000 s	31
<u>Diferentes espécies na mesma salinidade:</u>			
<i>B. calliptera</i> sal 20 x <i>B. montagnei</i> sal 20	11,0	0,000 s	38
<i>B. calliptera</i> sal 20 x <i>B. pinnata</i> sal 20	14,1	0,000 s	57
<i>B. calliptera</i> sal 20 x <i>B. radicans</i> sal 20	4,2	0,008 s	14
<i>B. pinnata</i> sal 20 x <i>B. montagnei</i> sal 20	54,8	0,000 s	175
<i>B. radicans</i> sal 20 x <i>B. montagnei</i> sal 20	23,5	0,000 s	64
<i>B. radicans</i> sal 20 x <i>B. pinnata</i> sal 20	8,4	0,000 s	26
<i>B. calliptera</i> sal 30 x <i>B. montagnei</i> sal 30	29,1	0,000 s	73

para saturar o processo fotossintético e para a produção fotossintética compensar a respiração (Figuras 2 e 3). Baixos valores de irradiância de saturação e de compensação, assim como elevada eficiência fotossintética (a) têm sido reportados na literatura para várias espécies do gênero *Bostrychia* (Karsten *et al.*, 1993; Karsten *et al.*, 1994a,b; Broderick & Dawes, 1998) e também para outros gêneros de macroalgas associadas a manguezais (Peña *et al.*, 1999; Dawes *et al.*, 1999). O fato destas algas se comportarem como plantas de sombra é facilmente justificado devido à atenuação da luz pela copa do manguezal, que pode variar entre 10 e 90 % da irradiância incidente sobre a copa (Cunha, 2001).

Embora todas as curvas PI medidas neste trabalho sejam típicas de plantas de sombra, nenhuma das algas estudadas apresentou fotoinibição, mesmo em irradiâncias próximas a 1000  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A ausência de fotoinibição sugere que estas algas, além de apresentarem ampla adaptação a baixa irradiância, são também capazes de tolerar altas irradiâncias. Esta ampla tolerância pode ser bastante vantajosa para estas algas, uma vez que a atenuação da luz dentro do manguezal é bastante variável tanto espacialmente, devido

às variações na densidade da copa, como temporalmente, devido à sazonalidade da produção de folhas na copa, à queda de galhos ou árvores que abrem clareiras, à sazonalidade da luz ou à cobertura de nuvens. Variações em curta escala temporal são também comuns, devido à movimentação da copa pelo vento, que pode fazer incidir sobre as algas "flashes" de alta irradiância. Todas estas variações são ainda mais acentuadas durante os períodos de maré baixa, quando a alga está emersa e não há a atenuação da luz pela água. Se a planta continua úmida neste momento, ela é capaz de utilizar a alta incidência luminosa, otimizando seu processo produtivo. Neste momento é de grande importância para a planta a tolerância a alta irradiância. Algas de manguezal, como *B. radicans*, *Caloglossa leprieurii* (Mann & Steinke, 1988) e *B. calliptera* (Peña *et al.*, 1999) podem continuar fotossintetizando mesmo quando desidratada até 30 a 50 % do seu teor original de água.

A ausência de fotoinibição para algas de manguezal foi também observada por Mann & Steinke (1988) e Karsten *et al.* (1994a,b). Entretanto, Peña *et al.* (1999) observou fotoinibição para *Bostrychia calliptera* e *Caloglossa leprieurii* em irradiâncias a partir de 200  $\mu\text{mol}$  de fótons

$m^{-2} s^{-1}$ . Esta variação poderia ser decorrente de ecótipos com respostas diferenciadas à irradiância, similar ao que tem sido observado para vários ecótipos de *B. moritziana* (Karsten *et al.*, 1993) e *B. radicans* (Karsten *et al.*, 1994a) com relação à luz e à salinidade.

## CONCLUSÕES

As espécies estudadas podem ser caracterizadas como típicas plantas de sombra, devido à alta eficiência fotossintética, à baixa irradiância necessária para saturar o processo fotossintético e à baixa irradiância necessária para a produção fotossintética compensar os gastos respiratórios. Embora se comportem como plantas de sombra, estas algas não apresentam fotoinibição, o que as habilita a ocupar um ambiente sujeito a grandes variações de irradiância.

*Bostrychia radicans* pode ser considerada a espécie de maior produtividade, seguida por *Bostrychia calliptera*. *Bostrychia montagnei* apresentou a menor produtividade.

A produtividade das algas estudadas está diretamente relacionada com a salinidade, e os maiores valores de produção ocorrem em salinidades mais próximas da água do mar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Broderick, M.E. & C.J. Dawes. 1998. Seasonal photosynthetic and respiratory responses of the red alga *Bostrychia tenella* (Ceramiales, Rhodophyta) from a salt marsh and mangal. *Phycologia*, 37(2):92-99.
- Cunha, S.R. 2001. Estrutura e produção das comunidades de Macroprodutores dos manguezais da Baía da Babitonga, SC. Universidade do Rio Grande.
- Davison, I. R. & G. Pearson. 1996. Stress tolerance in intertidal seaweeds. *J. Phycol.*, 32:197-211.
- Dawes, C.J.; Siar, K. & D. Marlett. 1999. Mangrove structure, litter and macroalgal productivity in a northern-most forest of Florida. *Mangroves and Salt Marshes*, 3:259-267.
- Karsten, U.; Koch, S.; West, J. A. & G. O. Kirst. 1994a. The intertidal red alga *Bostrychia simpliciuscula* Harvey ex J. Agardh from a mangrove swamp in Singapore: acclimation to light and salinity. *Aquatic Botany*, 48, 313-323.
- Karsten, U.; West, J. A. & E. K. Ganesan. 1993. Comparative physiological ecology of *Bostrychia moritziana* (Ceramiales, Rhodophyta) from freshwater and marine habitats. *Phycologia*, 32: 401-409.
- Karsten, U.; West, J. A.; Zuccarello, G. C. & G. O. Kirst. 1994b. Physiological ecotypes in the marine alga *Bostrychia radicans* (Ceramiales, Rhodophyta) from the East Coast of the USA. *Journal of Phycology*, 30, 174-182.
- Mann, F.D. & T.D. Steinke. 1988. Photosynthetic and respiratory responses of the mangrove-associated red algae, *Bostrychia radicans* e *Caloglossa leprieurii*. *South African Journal of Botany*, 54:203-207.
- Peña, E.J.; Zingmark, R. & C. Nietch. 1999. Comparative photosynthesis of two species of intertidal epiphytic macroalgae on mangrove roots during submersion and emersion. *Journal of Phycology*, 35:1206-1214.
- Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38:1128-1140.
- Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38:1128-1140.
- Webb, W.L.; Newton, M. & D. Starr. 1974. Carbon dioxide exchange of *Alnus rubra*: a mathematical model. *Oecologia*, 17:281-291.