

O USO DE *BELL JAR* NA AVALIAÇÃO DO METABOLISMO BENTÔNICO NA ARMAÇÃO DO ITAPOCOROY: RESULTADOS PRELIMINARES

PEREIRA FILHO, J.; OLIVEIRA, U.C. & G.C. MANZONI

CTTMar - Universidade do Vale do Itajaí
Rua Uruguai, 458, Cx.P. 360, Itajaí, SC - CEP 88.302-202
jura@univali.rct-sc.br

RESUMO

O trabalho teve como objetivos principais a determinação do metabolismo bentônico e a regeneração de nutrientes nos sedimentos sob uma região de cultivo de moluscos, através da utilização e adaptação para as condições locais, de incubadores *in situ*. Para tanto foram realizadas 3 campanhas de amostragens, onde foram utilizados 2 incubadores fixados sobre os sedimentos, um no cultivo e outro num local afastado do mesmo. Os incubadores (*bell jar*) foram confeccionados em acrílico transparente, com o formato de uma semi-esfera de 65 cm de diâmetro, isolando 72 l de água em contato com o sedimento. A agitação da água foi promovida por uma bomba submersível *Rule 360*, instalada na parte superior interna e alimentada por baterias de 6 V isoladas em um cano de PVC. Em cada *bell jar* foram realizadas coletas de água em 3 horários diferentes (sempre no início da manhã ou final da tarde) completando ciclos de 24 horas. Os parâmetros determinados foram o CO₂ total, O₂, nutrientes inorgânicos dissolvidos (NH₄⁺, NO₃⁻ e NO₂⁻ e PO₄⁻) e os elementos biogênicos (COP, NÓT, NOD, POT e POD). O NOP e POP foram obtidos pela diferença entre o total e o dissolvido. A partir das variações destes parâmetros, foram estimados os seus fluxos. Para o metabolismo bentônico, verificou-se uma tendência ao equilíbrio (produção-mineralização) em ambas as estações, tanto pelo CO₂ como pelo O₂ (média de -2,5 mmol CO₂.m⁻².d⁻¹ e -0,18 mmol O₂.m⁻².d⁻¹ na área do cultivo e -1,19 mmol CO₂.m⁻².d⁻¹ e -3,2 mmol O₂.m⁻².d⁻¹ na região externa). Os fluxos médios do NH₄⁺ foram -0,19 mmol N.m⁻².d⁻¹ para o cultivo e -1,09 mmol N.m⁻².d⁻¹ fora dele. Para o PO₄⁻ os valores foram dentro e fora, respectivamente, -0,96 mmol P.m⁻².d⁻¹ e -0,05 mmol P.m⁻².d⁻¹. Estes valores são baixos em relação ao conteúdo destes nutrientes na coluna d'água, indicando que a regeneração de nutrientes no sedimento foi pouco significativa para este ambiente no período estudado, o que é reforçado pelo metabolismo tendendo ao equilíbrio.

Palavras Chave: incubação *in situ*, câmara bentônica, metabolismo bentônico, regeneração de nutrientes, cultivo de mexilhões

THE BELL JAR USE TO ASSESMENT OF THE BENTHIC METABOLISM IN ARMAÇÃO DO ITAPOCOROY: PRELIMINARY RESULTS

ABSTRACT

The purpose of this work was to determine the benthic metabolism and the regeneration of nutrients in the sediments under a mussel culture, using an adaptation of *in situ* benthic chambers (*bell jars*). Three experiments were carried out in the the summer. Two bell jars were used in each experiment: one under the mussel culture and another one as reference, outside of the culture area. The benthic domes was shaped on perspex with a volume of 72 l and covering an area of 0.33m². A submersible pump (*Rule 360*) was placed on the top of the dome in order to gently stir the incubated water. This pump was fed by three 6V batteries sealed in a plastic tube. On each experiment, water samples were collected from the bell jars every 12 hours, (the samplings were

collected always at early morning or at late afternoon), completing 24 hours cycles. On each sample, Total CO₂ (TCO₂), O₂, dissolved inorganic nutrients (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻ and PO₄³⁻) and biogenic elements (Particulate Organic Carbon, Total and Dissolved Organic Nitrogen, Total and Dissolved Organic Phosphorus) were analysed. Particulate Organic Nitrogen and Phosphorus were obtained by the difference between the total and dissolved fraction. The fluxes were calculated from the variation of the concentration in the water of these parameters. The fluxes of TCO₂ and O₂ indicated that the benthic metabolism was in equilibrium (Production~Mineralization) at both sites (mean of -2,5 mmol TCO₂.m⁻².d⁻¹ and -0,18 mmol O₂.m⁻².d⁻¹ under the mussel culture and -1,19 mmol CO₂.m⁻².d⁻¹ and -3,2 mmol O₂.m⁻².d⁻¹ on the reference site). The averaged values of NH₄⁺-fluxes were -0,19 mmol N.m⁻².d⁻¹ and -1,09 mmol N.m⁻².d⁻¹ under the mussel culture and in the reference site respectively. The PO₄³⁻ fluxes were, -0,96 mmol P.m⁻².d⁻¹ under the culture and -0,05 mmol P.m⁻².d⁻¹ in the reference site. These fluxes values were small compared to the content of nutrients in the water column, suggesting that the regeneration in the sediment was not very important in this environment in the studied period.

Key Words: benthic metabolism, nutrients regeneration, mussel culture, bell jar, in situ incubation

INTRODUÇÃO

A interface água-sedimento e os sedimentos superficiais têm um papel importante na estruturação e no funcionamento de numerosos meios aquáticos. Eles constituem fronteiras onde ocorre sedimentação contínua de material orgânico particulado proveniente das camadas superiores, representando portanto locais de intensa mineralização da matéria orgânica e de reciclagem dos nutrientes (Carmouze, 1994). A regeneração dos nutrientes nos sedimentos é particularmente importante nos ambientes costeiros pouco profundos, onde a carga orgânica sedimentar é elevada e a sua mineralização pode representar uma fonte substancial de nutrientes para a produção primária na coluna d'água (Klump & Martens, 1981). Esta elevada carga orgânica que chega ao sedimento via coluna d'água, cria um ambiente particular, muito favorável à atividade bacteriana (Enell & Logfren, 1988). Desta forma, os sedimentos são de fundamental importância na reciclagem da matéria orgânica originada da coluna d'água e portanto, na regeneração dos nutrientes inorgânicos nos ambientes costeiros rasos. A compreensão quantitativa da interação entre o sedimento e a coluna d'água requer o conhecimento dos mecanismos que controlam as taxas de remineralização dos nutrientes e as trocas

químicas nesta interface (Berner, 1976). Para se verificar a influência do sedimento na coluna d'água é preciso portanto, avaliar a taxa de decomposição da matéria orgânica no sedimento e a taxa de renovação dos elementos nutrientes resultantes desta decomposição (Kuroshima, 1995).

A atividade bacteriana no sedimento pode variar ao longo do ano, em função de parâmetros como temperatura e disponibilidade de matéria orgânica (Klump & Martens, 1989; Kuroshima *et al*, 1993). O aporte adicional de matéria orgânica em um ambiente aquático, como ocorre sob cultivos de moluscos, pode causar alterações no metabolismo natural deste ambiente, com repercussões sobre a atividade pelágica e bentônica. Alguns estudos têm mostrado alguns efeitos da implantação deste tipo de atividade em ambientes costeiros (Tenore *et al*, 1985; Kaspar *et al*, 1985; Folke & Kautsky, 1989; Hatcher *et al*, 1994; Josefsen *et al*, 1994). Se a carga orgânica, originada da produção de pseudo-fezes pelos moluscos, for excessiva e, dependendo das condições hidrológicas locais, o ambiente pode não apresentar condições de degradar a mesma, que tenderá a se acumular no sedimento. Este acúmulo poderá ainda, com o tempo, levar a progressiva degradação do local,

desestruturando todo o ecossistema. A implantação destes cultivos é feita normalmente em águas abrigadas, como baías e enseadas, onde o padrão de circulação tende a ser mais restrito e onde haverá portanto uma maior probabilidade de impacto no ambiente.

Vários métodos têm sido utilizados na avaliação do metabolismo bentônico e regeneração de nutrientes, a maioria dos quais baseados no estudo da composição química da água intersticial ou na incubação de sedimentos *in vitro* (Graneli, 1977; Lerman, 1978; Nixon *et al*, 1980; Howes, 1983; Klump & Martens, 1983; Bottomley & Bayly, 1984; Carignan, 1984; Carignan *et al*, 1985; Ennell & Logfren, 1988; Carmouze *et al*, 1997; entre outros). Estas técnicas são muitas vezes dificultadas pela necessidade de se trabalhar com volumes muito pequenos de amostras no primeiro caso ou devido às condições de laboratório nem sempre simularem de maneira conveniente as condições ambientais. Outras metodologias que também têm sido utilizadas, embora com menor frequência no Brasil, é a utilização de incubadores *in situ* (Hall *et al*, 1979; Boynton *et al*, 1981; Balzer, 1984; Machado & Knoppers, 1988; Knoppers, 1996). Estes incubadores apresentam a vantagem de que todo o procedimento de incubação é feito *in situ*, sem que ocorra portanto grande variabilidade em relação às condições naturais. Apesar disso, a incubação *in situ* não reproduz totalmente as condições naturais, pois a água incubada fica isolada do meio externo, não estando sujeita a variabilidade natural, principalmente relacionada a turbulência externa.

Neste trabalho pretende-se fazer uma adaptação metodológica para as condições locais (uso de câmaras bentônicas), com o intuito de se determinar o metabolismo bentônico e a regeneração de nutrientes nos sedimentos sob uma região de cultivo de moluscos, localizada na enseada de Armação de Itapocoroy-Penha, com a utilização de incubadores *in situ*.

MATERIAL E MÉTODOS

A área onde foi realizado o experimento foi a Enseada do Itapocoroy, no município de Penha (26°58'S e 48°38'W). A escolha deste local se deu em virtude da UNIVALI manter neste município um Campus avançado (Campus V) onde a FACIMAR está desenvolvendo uma estação experimental de cultivo de mexilhões, além de representar um importante centro de produção de moluscos no estado. Este local têm mostrado um alto potencial de sedimentação (Schettini *et al*, 1997), o que já pode ser resultado da implantação dos cultivos.

Durante o verão foram realizadas três campanhas de amostragens. Em cada campanha, dois pontos distintos foram amostrados, através de incubações, durante ciclos de aproximadamente 24 horas: um deles localizado sob o cultivo e o outro em uma região mais externa ao mesmo (controle). As profundidades nos pontos de amostragem eram de aproximadamente 4m (interior do cultivo) e 8m (ponto externo ao cultivo). Estas amostragens consistiram de incubações *in situ*, feitas com a utilização de domos acrílicos (*bell jars*), os quais isolavam um volume d'água conhecido, em contato com uma superfície de sedimento também conhecida.

a) O incubador

Foram utilizadas para as incubações, câmaras bentônicas do tipo *bell jar*, construídas e adaptadas à partir de modelo utilizado por Knoppers *et al* (1996). Cada *bell jar* é composto por um domo (semi-esfera) de 65 cm de diâmetro, confeccionado em acrílico cristal transparente, isolando um volume d'água de 72 l, sobre uma área de sedimento de 0.33 m². Na parte superior interna do incubador foi instalada uma bomba submersível *Rule 360* de 12V, para promover a agitação da água incubada, evitando a sua estagnação e simulando a turbulência externa. A velocidade de agitação foi determinada após

testes em laboratório com rodamina, para evitar a ressuspensão do fundo. À partir dos testes, verificou-se que a homogeneização da água + rodamina no interior do incubador ocorria em poucos minutos. Para tanto, a bomba foi alimentada por baterias de lanterna de 6V. O uso das baterias de 6 V, ao invés dos 12 V requeridos originalmente pela bomba, foi necessário para diminuir a velocidade de agitação, evitando a ressuspensão de fundo. Para cada campanha de 24 horas, foram utilizadas 3 baterias dispostas em paralelo, em cada incubador. As baterias foram inseridas em canos de PVC, fechados nas extremidades e vedados com anéis de borracha (O-Ring) e borracha de silicone. A ligação entre as baterias e a bomba foi feita com fio flexível de cobre encapado, sendo a conexão vedada com fita de auto-fusão. Durante os experimentos, todo o conjunto foi mantido submerso, preso a uma poita, ao lado do incubador.

Foi inserida no incubador uma mangueira de aquário de aproximadamente 5 mm de diâmetro, a qual dispunha de uma válvula na extremidade, através da qual era feita a retirada das amostras do interior do incubador, com a utilização de seringas de 50 ml. Em cada ponto foram utilizadas 7 seringas, totalizando um volume de 350 ml de água disponível para

as determinações analíticas. Para compensar o volume de água retirado, foi instalada uma câmara de compensação, constituída por um grande balão de borracha cheio de água do próprio local. Todo o aparato é mostrado na figura 1.

b) As Amostragens

Em cada bell jar foram coletadas amostras de água no instante de fixação do equipamento, após passadas aproximadamente 12 horas e no momento de retirada do mesmo aproximadamente 12 horas após a segunda coleta, totalizando 3 horários de coletas por ciclo. O horário de início de incubação variou entre os ciclos: início da manhã (aproximadamente 7:00 hs) ou final da tarde (aproximadamente 19:00). Isto foi feito com o objetivo de se tentar diferenciar o metabolismo bentônico e a regeneração de nutrientes durante períodos diurnos e noturnos. De cada amostra foram feitas medições, imediatamente após a coleta: da salinidade (condutivímetro Orion) e temperatura (com termômetro de mercúrio), de O₂ dissolvido (com Oxímetro), pH (através de pHmetro) e de alcalinidade (por titulação com HCl). Além disso, alíquotas das mesmas foram filtradas, à vácuo e em filtros Millipore

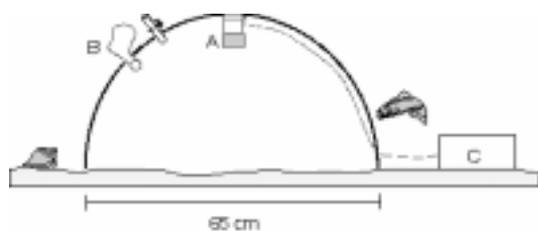


Figura 1: 1.1) Figura esquemática, mostrando o incubador e seus principais componentes: A- Motor; B- Dispositivo de compensação da água retirada; C- Invólucro de PVC que contém as baterias para alimentação do motor (ver maiores detalhes no texto). 1.2) Fotografia do Incubador do tipo *bell jar* construído e utilizado durante as amostragens sob o cultivo de mexilhões na Enseada de Armação do Itapocoroy – Penha – SC.

HA de 0,45µm de porosidade, e congeladas para posteriores análises de fosfato, nitrato, nitrito, amônio e de fósforo e nitrogênio orgânicos dissolvidos em laboratório. O CO₂Total da água foi calculado à partir dos dados de temperatura, salinidade, pH e alcalinidade, segundo modelo de interações iônicas (Carmouze, 1994).

A instalação e remoção dos incubadores, bem como a coleta das amostras de água, foram realizadas através de mergulho autônomo. As coletas iniciais das amostras foram feitas com garrafas de Niskin, já que as condições da água dentro e fora dos incubadores eram iguais, enquanto que as coletas nos períodos intermediários e finais de incubação foram feitas com seringas hipodérmicas de vidro de 50 ml.

c) Determinações de Laboratório

As determinações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (NO₃⁻; NO₂⁻; NH₄⁺; PO₄³⁻) e dos elementos biogênicos (NOP; NOD; NOT; POP; POD; POT; COP) foram realizadas no laboratório de Oceanografia Química da FACIMAR/UNIVALI. Os métodos utilizados estão descritos abaixo, sendo que os nutrientes inorgânicos dissolvidos foram determinados segundo métodos colorimétricos descritos por Strickland & Parsons (1972).

·NO₂⁻ O nitrito foi determinado após reação com sulfanilamida, formando o íon diazóico, e posteriormente formando o complexo colorido, com o N-naftil etilenodiamida.

·NO₃⁻ O nitrato foi determinado como nitrito, após passagem da amostra por uma coluna redutora preenchida por grãos de Cd.

·NH₄⁺ O amônio foi determinado pela formação do complexo colorido azul de indofenol, corrigido pelo efeito da salinidade

·PO₄³⁻ Os íons fosfato foram determinados pela formação do complexo colorido azul de

fosfomolibdico.

·POT e POD O Fósforo Orgânico Total (POT) e Dissolvido (POD) foram determinados após digestão ácida a quente, na presença de persulfato de potássio, conforme metodologia descrita por Grasshof *et al.* (1983) e adaptada por Carmouze (1994).

·COP O carbono orgânico particulado foi determinado através de titulação com dicromato, segundo método descrito por Grasshoff *et al.* (1983) adaptado por Carmouze (1994).

·NOP e POP O Nitrogênio e o Fósforo orgânico particulado foram determinados pela diferença entre o total e o dissolvido.

d) Cálculos:

Os valores dos fluxos entre as amostragens, em cada incubação, foram obtidos à partir da expressão:

$$F = ([]_f - []_i) \cdot V \cdot A^{-1} \cdot Dt^{-1}; \text{ onde:}$$

F= Fluxo, em mmol.m⁻².h⁻¹

[]_i = Concentração da substância (mmol.m⁻³), no início de um intervalo de incubação.

[]_f = Concentração da substância (mmol.m⁻³), no final de um intervalo de incubação.

V = Volume de água incubada (m³).

A = Área superficial de sedimento incubado (m²).

Dt = Intervalo de tempo (horas) entre medição inicial e final.

Os valores positivos representam aumento da substância na água incubada e portanto um fluxo do sedimento para a água e vice-versa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizadas todas as análises, foram obtidos os dados brutos de cada

parâmetro. As salinidades dos locais de incubação variaram pouco em torno de 34 para todas as amostras, enquanto que as temperaturas médias obtidas foram iguais à 25,3°C dentro e fora do cultivo. As concentrações de nitrato presentes tanto sob o cultivo quanto na área controle eram muito baixas e não foram possíveis de determinação. Os dados de carbono orgânico particulado referentes à primeira campanha, realizada nos dias 20 e 21 de janeiro deste ano não constam na tabela devido à problemas durante o tratamento em laboratório.

À partir dos dados brutos foram calculadas as variações de cada parâmetro obtido, entre as amostragens, em cada ciclo. Como citado anteriormente, cada ciclo abrangeu um período próximo a 24 horas, de modo que os dados são mostrados como resultado de um período de incubação diurno (variação ocorrida entre início da manhã e final da tarde) e outro noturno (final da tarde e início da manhã), fechando o ciclo. Eles estão expressos como médias entre os três ciclos, em $\text{mmol.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

a) *Metabolismo Bentônico:*

A estimativa do metabolismo bentônico foi feita através dos métodos do CO_2 total e do O_2 . A figura 2 mostra os valores médios e desvios padrões entre três ciclos, no período noturno e diurno.

Para ambos não foi verificado um padrão de variação que se repetisse em cada ciclo. A variação média do CO_2 Total dentro do cultivo foi de $-0,45 \pm 0,7 \text{ mmol C.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para o período diurno, correspondendo a um balanço autotrófico (consumo de CO_2). Entretanto houve grande variabilidade entre os valores obtidos em cada ciclo, o que pode ser visto pelo alto valor do desvio padrão. Para o período noturno, a média geral dos 3 ciclos foi de $0,24 \pm 0,43 \text{ mmol C.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$, resultando em um balanço noturno heterotrófico (aumento do CO_2).

No cultivo, não obstante a grande variabilidade dos dados, se for feita uma aproximação para se obter o balanço diário da atividade bentônica (período diurno + período noturno), obtemos um balanço líquido para o CO_2 de $-0,105 \text{ mmol CO}_2 .\text{m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ou $-2,5 \text{ mmol CO}_2 .\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Este valor, que representa um balanço autotrófico líquido, é muito baixo se for comparado ao conteúdo médio de CO_2 Total da coluna d'água no período, de 1013 mmol.m^{-3} . Assim esta variação ($-2,5 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) é muito pequena (menos de 0,25 %) se comparada aos valores realmente medidos, podendo ser intrínseca a própria variabilidade das medições.

Na estação localizada fora do cultivo, a variação média do CO_2 foi de $0,37 \pm 1,15 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para o período diurno e de $-0,47 \pm 0,353 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ para o período noturno. À partir destes resultados obtemos um balanço líquido médio para o CO_2 T de $-0,050 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ou $-1,2 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, correspondendo portanto, a uma respiração

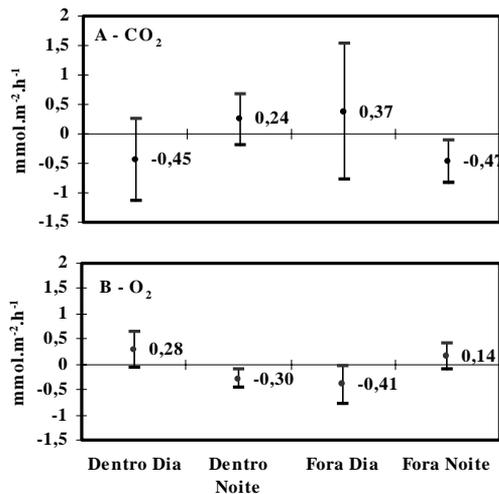


Figura 2: Valores médios e desvios padrões dos fluxos de CO_2 Total (A) e de Oxigênio (B) entre os três ciclos, diferenciados quanto ao período de incubação, diurno ou noturno, e quanto ao local, dentro ou fora da área de cultivo (valores positivos representam aumento da concentração na água incubada e valores negativos representam diminuição).

líquida. Como na estação situada dentro do cultivo, o metabolismo bentônico apresentou uma alta variabilidade.

Para o O_2 , as variações médias referentes aos períodos diurno e noturno dentro do cultivo foram de $0,28 \pm 0,35$ e $-0,2 \pm 0,18$ $mmol O_2 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, respectivamente. Fazendo-se o balanço líquido médio para a sua variação, obtemos o valor de $-0,007$ $mmol O_2 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ ou $-0,17$ $mmol O_2 \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$, representando um balanço heterotrófico líquido. O valor referente ao metabolismo bentônico representa também um valor baixo, menos de 0,25% da concentração média da coluna d'água (177.5 $mmol O_2 \cdot m^{-3}$). Assim sendo, tanto para o CO_2 como para o O_2 , o metabolismo bentônico, apesar das variabilidades encontradas, tendeu para um valor geral de equilíbrio entre um metabolismo auto e heterotrófico, na estação situada dentro do cultivo.

Na estação fora do cultivo os valores obtidos foram de $-0,41 \pm 0,38$ $mmol O_2 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ e $0,14 \pm 0,26$ $mmol O_2 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ para os períodos diurno e noturno, respectivamente. O balanço líquido foi de $-0,13$ $mmol \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ ou $-3,2$ $mmol \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$, correspondendo também a uma respiração líquida, porém não muito elevada. Em resumo, os dois métodos apontaram para uma pequena tendência a heterotrofia do sedimento na estação localizada fora do cultivo.

Comparando-se a estação situada dentro do cultivo com a externa a ele, percebe-se que a externa apresentou uma tendência mais marcante à heterotrofia, ao contrário do que seria esperado. Esta estação externa foi feita, em princípio, para servir de referência (controle) em relação à do cultivo. Entretanto foi verificado que ela não foi adequada para este fim, por dois motivos: 1) a diferença de profundidade entre o cultivo (4m) e a estação de referência (8m), o que faz com que a dinâmica sedimentar seja diferente em cada local e 2) principalmente devido a diferença dos tipos de sedimento entre as duas localidades. Embora não tenha sido feita uma análise sedimentológica, a estação do cultivo foi caracterizada por um sedimento grosseiro, tipi-

camente arenoso. Já a estação externa apresentou um fundo com um sedimento bem mais fino. Esta diferença é marcante na determinação dos fluxos bentônicos, de modo que as duas estações não podem ser facilmente comparadas. Este sedimento grosseiro no cultivo sugere que, apesar da presença dos cultivos, apenas uma pequena parte do material sedimentar, oriundo dos mesmos, permanece no fundo. Apesar de haver uma fonte de material sedimentar (o cultivo) e uma alta taxa de sedimentação potencial (Schettini *et al.*, 1997), a maior parte do material provavelmente é carregada para outras regiões pelas correntes e ondas. Estas correntes, talvez relacionadas às variações de maré, seriam também responsáveis pela alta variabilidade registrada nos valores das incubações, pois as incubações são realizadas ao longo de 24 horas, período suficiente para inversões de maré e portanto grandes mudanças das condições do meio. Assim o conhecimento da hidrodinâmica local, bem como a obtenção de um mapa sedimentológico, serão de fundamental importância para a escolha de um sítio controle e para a determinação do metabolismo bentônico e da influência do cultivo de mariscos sobre o mesmo.

b) Nutrientes Inorgânicos e Regeneração:

Os valores médios brutos do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), entre as três amostragens, dentro da região de cultivo foi de $10,5 \pm 1,9$ e na região fora dele de $10,4 \pm 1,9$ $mmol \cdot m^{-3}$. Verificou-se que as concentrações de amônio (NH_4^+) corresponderam, em média, à mais de $96 \pm 1,4\%$ do NID. O PO_4^{3-} apresentou concentrações médias sob o cultivo de $0,8 \pm 0,5$ e na área afastada do mesmo tal concentração foi de $1,2 \pm 0,5$ $mmol \cdot m^{-3}$. Dessa forma, à partir dos valores brutos, as razões média N:P entre os nutrientes, encontrada neste estudo foram de 23:1 e 12:1, respectivamente dentro e fora do cultivo de mexilhões.

As médias dos fluxos de amônio encontradas na área de cultivo, para os três ciclos, durante os períodos diurno e noturno foram, respectivamente, $-0,018 \pm 0,001 \text{ mmol N.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $0,003 \pm 0,037 \text{ mmol N.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$; enquanto que na área afastada do mesmo os valores encontrados, na mesma ordem, foram $-0,099 \pm 0,127 \text{ mmol N.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $0,008 \pm 0,023 \text{ mmol N.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Dessa forma o balanço líquido estimado para 24 horas foi de $-0,008 \text{ mmol N.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ou $-0,19 \text{ mmol N.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ dentro do cultivo e $-0,045 \text{ mmol N.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ou $-1,09 \text{ mmol N.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ fora dele.

Para o PO_4^{3-} , os valores médios dos fluxos foram iguais à $-0,006 \pm 0,008 \text{ mmol P.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $-0,001 \pm 0,009 \text{ mmol P.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ na área de cultivo e $-0,010 \pm 0,006 \text{ mmol P.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ e $0,006 \pm 0,013 \text{ mmol P.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ fora dela, respectivamente durante os períodos diurno e noturno. O balanço diário estimado foi então de $-0,004 \text{ mmol P.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ou $-0,084 \text{ mmol P.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ na área de cultivo e $-0,002 \text{ mmol P.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ou $-0,05 \text{ mmol P.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ na área afastada do mesmo.

Os valores dos fluxos não foram muito significativos se comparados à concentração média dos nutrientes na coluna d'água. Os valor médio do NID no cultivo, por exemplo, foi de 10.5 mmol.m^{-3} , resultando num conteúdo de 42 mmol.m^{-2} (profundidade de 4m). O fluxo médio de NH_4 à partir do sedimento foi de $-0.19 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ para a mesma área, correspondendo a menos de 0.5 % do conteúdo de NID. Para a estação externa ao cultivo, a concentração média de NID foi de 10.4 mmol.m^{-3} , correspondendo a um conteúdo de 83 mmol.m^{-2} (profundidade de 8m). O fluxo médio de NH_4 nesta estação foi de $-1.1 \text{ mmol N.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, totalizando menos de 1.5 % do conteúdo de NID na coluna d'água.

Os fluxos de fosfato também não foram muito significativos se comparados com seu conteúdo na coluna d'água. No cultivo o conteúdo médio foi $3.2 \text{ mmol P.m}^{-2}$ e a média dos fluxos foi de $-0.084 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, representando aproximadamente 2.5% de seu conteúdo. Já na estação fora do cultivo o conteúdo médio de fosfato foi de 9.6 mmol.m^{-2} contra um

fluxo $-0.05 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Nesta estação o fluxo representou aproximadamente 0,5 % de seu conteúdo na coluna d'água.

Em resumo, os fluxos dos nutrientes inorgânicos foram muito baixos em relação à sua concentração na coluna d'água, principalmente no cultivo. Isto sugere que a contribuição dos sedimentos no que se refere a regeneração de nutrientes *in situ* é muito pouco significativa neste ambiente. Os valores médios, brutos e dos fluxos, dos principais parâmetros considerados podem ser mais facilmente observados na tabela 1.

Para o balanço total dos fluxos no ciclo de 24 horas, verifica-se que os valores médios das razões NID:PID dentro e fora do cultivo foram, respectivamente, $2:1 \pm 0,5$ e $2:1 \pm 4,8$ ambos abaixo da razão de Redfield de 16:1. Em um trabalho realizado na Lagoa de Araruama (RJ) foram encontrados valores de 34:1 na primavera e 580:1 no outono (Knoppers *et al*, 1996). Essa diferença com os valores encontrados sob o cultivo na Praia de Armação pode ser decorrente do fato da Lagoa de Araruama ser um ambiente hipersalino, rico em carbonatos. Além disso, a própria presença dos cultivos poderia ocasionar uma certa remoção de nitrogênio da coluna d'água. Kaspar *et al* (1985), à partir de um estudo realizado em Kenepuru Sound, região sul da Nova Zelândia, à profundidades médias de 11m, com flutuações de maré de 3 à 4 m e com velocidade máxima de corrente de maré de cerca de 4 km.h^{-1} , reportou que a presença de um cultivo de mexilhões (*Perna canaliculus*) em regiões costeiras mais abrigadas pode remover parcelas de nutrientes nitrogenados da coluna d'água. Isso ocorre, segundo o autor, em função de um acúmulo de N no tecido dos organismos, que apresentam uma razão N/P muito superior que a prevista por Redfield para o fitoplâncton.

Resultados semelhantes têm sido encontrados em outros ambientes de cultivo (Tenore *et al*, 1982). Kaspar *et al* (1985) também reporta a influência e modificações que a implantação de cultivos de mexilhões pode

Tabela 1: Médias dos valores brutos (em mmol.m^{-3}) e dos balanços diários dos fluxos (em $\text{mmol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) para o NID, PID e para a razão NID/PID, obtidas à partir dos resultados encontrados nas três campanhas, para os locais de incubação situados dentro e fora da área de cultivo.

Parâmetros	Dentro		Fora	
	Valor Bruto	Fluxo Diário	Valor Bruto	Fluxo Diário
NID	10,5 \pm 1,9	-0,19	10,4 \pm 1,9	-1,09
PID	0,8 \pm 0,6	-0,08	1,2 \pm 0,5	-0,05
NID/PID	23:1	2:1 \pm 0,5	12:1	2:1 \pm 4,8

provocar na distribuição do nitrogênio em ecossistemas aquáticos. Tal sugestão é reforçada por Folke & Kautsky (1989), que também relacionam tal alteração da razão N/P com maiores riscos de ocorrências de florações de algas nocivas.

Todavia, foi observado que não houve diferença significativa entre as razões N/P dos fluxos sob o cultivo e fora dele, aproximadamente 2:1 para ambos, o que estaria indo de encontro com as prováveis causas da redução do nitrogênio na coluna d'água descritas anteriormente. Essa semelhança dos valores pode ser decorrentes de aspectos ambientais distintos entre os dois locais de incubação, como por exemplo: o tipo de sedimento, a profundidade e a velocidade de correntes, como já foi discutido anteriormente para os fluxos de CO_2 e O_2 .

c) Elementos Biogênicos:

O carbono orgânico presente nos dois locais de incubação somente foi determinado na sua forma particulada (COP) devido a problemas metodológicos relacionados ao seu fracionamento em água salgada (a determinação do COD em água salgada pelo método do dicromato é problemática pela interferência do Cl⁻). Na área do cultivo de mexilhões, a média dos valores encontrada foi de 65,4 \pm 60,1 mmol.m^{-3} enquanto que na área localizada afastada do cultivo, o valor foi de 76,1 \pm 49,2 mmol.m^{-3} .

Para o nitrogênio orgânico total (NOT), a média dos valores brutos dentro do cultivo foi de 33 \pm 11 mmol.m^{-3} , enquanto que para a estação externa ao mesmo o valor obtido foi de 32 \pm 8,7 mmol.m^{-3} . Os valores brutos médios do nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) encontrados dentro e fora da região de cultivo foram, respectivamente, 25 \pm 2,0 mmol.m^{-3} e 23 \pm 2,9 mmol.m^{-3} . À partir dos valores de NOD e NOT foram estimados então os valores do nitrogênio orgânico particulado (NOP). Na área de cultivo o valor obtido foi de 8,0 \pm 9,4 mmol.m^{-3} , já fora do cultivo o valor obtido foi de 9,1 \pm 8,3 mmol.m^{-3} .

As médias para o fósforo orgânico total (POT) foram 4,8 \pm 3,2 mmol.m^{-3} para a área do cultivo e 7,1 \pm 2,6 mmol.m^{-3} para fora dele. Para o fósforo orgânico dissolvido (POD), respectivamente dentro e fora do cultivo, a média dos valores brutos foi de 2,3 \pm 0,2 mmol.m^{-3} e 2,4 \pm 0,5 mmol.m^{-3} . Com os valores do POD e POT, foram estimados então os valores médios do fósforo orgânico particulado (POP). Dentro do cultivo foi estimada uma concentração de 2,5 \pm 3,2 mmol.m^{-3} e fora de sua área 4,7 \pm 2,6 mmol.m^{-3} .

A razão entre os elementos biogênicos totais (NOT:POT) foi, então, de 7,1 \pm 1,6 dentro do cultivo e 5,4 \pm 1,8 fora do mesmo. Para os dissolvidos essa razão (NOD:POD) foi de 10,5 \pm 1,1 na área de cultivo e 10,1 \pm 0,5 fora dela. Para o material particulado a razão C:N:P foi de 51:3:1 e 45:2:1, dentro e fora do cultivo respectivamente. Quando comparada à razão de Redfield, de 106:16:1, verifica-se que as

encontradas neste estudo são muito inferiores, o que pode ser atribuído a alguns fatores. Primeiramente, isso poderia estar relacionado ao fato de que muito provavelmente a maior parte do material presente no interior das incubadoras não era composto por fitoplâncton, mas sim por material proveniente dos mexilhões, o que não estaria proporcionando uma razão semelhante à de Redfield. E, assim como para os nutrientes inorgânicos já descritos anteriormente, a presença do cultivo poderia estar causando também uma depleção das concentrações das formas orgânicas do nitrogênio da coluna d'água e sedimento, tornando-o menos representativo frente ao fósforo. Quanto ao carbono, esse efeito poderia ser o mesmo.

Estes valores mais uma vez sugerem a possível influência dos cultivos sobre a dinâmica dos compostos nitrogenados no sistema. Parte da matéria orgânica particulada e dissolvida é originada provavelmente do cultivo de mexilhões, sob a forma de pseudofezes. Este material estaria então empobrecido em nitrogênio em relação ao fósforo, o qual teria sido absorvido e concentrado pelos moluscos, como tem sido demonstrado por alguns autores (Tenore *et al*, 1982; Kaspar *et al*, 1985; Folke & Kautsky, 1989) o que tenderia a remover parte do nitrogênio do sistema, reduzindo a razão N:P. Entretanto, para a comprovação desta hipótese seria necessário um acompanhamento contínuo destes parâmetros por um período mais longo. Dessa forma poderia se identificar a possível transferência de nitrogênio do meio para os tecidos dos organismos cultivados, e a conseqüente alteração da dinâmica do seu ciclo em função da presença dos cultivos.

SUMÁRIO

Em suma, os dados aqui apresentados são preliminares e limitados em número, resultado de uma primeira tentativa de adaptação e utilização, neste ambiente, da

metodologia descrita. Ainda que não sejam significativos nos seus valores absolutos, eles sugerem que a maior parte da matéria orgânica particulada derivada do cultivo no período de realização deste trabalho, não permaneceu sob o mesmo, fazendo com que o metabolismo bentônico e conseqüentemente a regeneração fossem bastante reduzidos no local.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a PROPPEX (Pro-reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Extensão) da Universidade do Vale do Itajaí, pelo suporte financeiro ao trabalho, através do FAP e de uma bolsa de iniciação científica Probic.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balzer, W. 1984. Organic Matter Degradation and Biogenic Element Cycling in a Nearshore Sediment (Kiel Bight). *Limnol. Oceanogr.*, 29 (6): 1231-1246
- Berner, R. 1976. The Benthic Boundary Layer from the View Point of a Geochemist, *In*: McCave, I.V. The Benthic Boundary Layer. Plenum.
- Bottomley, E.Z. & Bayly, I.L. 1984. A Sediment Porewater Sampler Used in root Zone Studies of the Submerged Macrophyte, *Myriophyllum spicatum*. *Limnology and Oceanography*, 29 (3): 671-673.
- Boynton, W.R.; Kemp, W.M.; Osborne, C.G.; Kaumeyer, K.R. & Jenkins, M.C. 1981. Influence of Water Circulation Rate on *in situ* Measurements of Benthic Community Respiration. *Marine Biology*, 65: 185-190.
- Carignan, R. 1984. Interstitial Water Sampling by Dialysis: Methodological Notes. *Limnology and Oceanography*, 29 (3): 667-670.

- Carignan, R.; Rapin, F. & Tessier, A. 1985. Sediment Porewater Sampling for Metal Analysis: a comparison of Techniques. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49: 2491-2497.
- Carmouze, J.-P. 1994. O Metabolismo dos Ecosistemas Aquáticos. Ed. Edgard Blucher.
- Carmouze, J.-P.; Bellotto, V.; Maddock, J. & Romanazzi, A. 1997. A Versatile *In Situ* Porewater Sampler. *Mangroves and Salt Marshes*, 1: 73-78.
- Ennel, M. & Logfren, S. 1988. Phosphorus in Interstitial Water: Methods and Dynamics. *Hidrobiologia*, 170: 103-132.
- Folke, C. & Kautsky, N. 1989. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *AMBIO – A Journal of the Human Environment*, 18 (4): 233-243.
- Graneli, W. 1977. Measurement of Sediment Oxygen Uptake in Laboratory Using Undisturbed Sediment Cons. *Vatten*, 3: 1-15.
- Grasshoff, K.; Ehrhardt, M. & Kremling, K. 1983. *Methods of Seawater Analysis*. 2nd. Verlag Chemie.
- Hall, C.A.S.; Tempel, N. & Peterson, B.J. 1979. A Benthic Chamber for Intensely Metabolic Lotic Systems. *Estuaries*, 2: 178-183.
- Hatcher, A.; Grant, J. & Schofiel, B. 1994. Effects of Suspended Mussel Culture (*Mytilus* spp.) on Sedimentation, Benthic Respiration and Sediment Nutrient Dynamics in a Coastal Bay. *Marine Ecology - Progress Series*, 115: 219-235.
- Howes, B.L. 1983. Effects of Sampling Technique on Measurements of Porewater Constituents in Salt Marsh Sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 30 (1): 221-227.
- Josefsen, S.B. & Schluter, L. 1994. The Influence of an Intertidal Mussel Bed (*Mytilus edulis*) on Nutrient Fluxes in the Kerteminde Fjord, Denmark; a Flume. *In: Dyer, K.R. & Orth, R.J. Changes in Fluxes in Estuaries: Implications from Science to Management*. Olsen & Olsen.
- Kaspar, H.F.; Gillespie, P.A.; Boyer, I.C. & Mackenzie, A.L. 1985. Effects of Mussel Aquaculture on the Nitrogen Cycle and Benthic Communities in Kenepuru Sound, Marlborough Sounds, New Zealand. *Marine Biology*, 85: 127-136.
- Klump, J.V. & Martens, C.S. 1981. Biogeochemical Cycling in an Organic Rich Coastal Marine Basin - II. Nutrient Sediment-Water Exchange Processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45 (1): 101-121.
- Klump, J.V. & Martens, C.S. 1989. The Seasonality of Nutrient Regeneration in an Organic-Rich Coastal Sediment: Kinetic Modeling of Changing Pore-Water Nutrient and Sulfate Distributions. *Limnol. Oceanogr.*, 34 (3) 559-577.
- Knoppers, B.; Souza, W.F.L.; Souza, M.F.L.; Rodriguez, E.G.; Landim, E.F.C.V. & Vianna, A.R. 1996. In situ measurements of benthic primary production, respiration and nutrient fluxes in a hypersaline coastal lagoon of SE Brazil. *Revista brasileira de oceanografia*. 44(2): 153-163.
- Kuroshima, K.N. 1995. Decomposição da Matéria Orgânica no Sedimento da Lagoa da Barra - Maricá (RJ). *Dissertação de Mestrado*. UFF.
- Kuroshima, K.N.; Bernardes, M. & Carmouze, J.-P. 1993. Decomposition of Organic Matter in Lagoa da Barra (Maricá-RJ). *Perspectives for Geochemistry in Tropical Countries*. *Proceedings*: 215-218.
- Lerman, A. 1978. Chemical Exchange Across Sediment-Water Interface. *Ann. Ver. Earth Planet Sci.*, 6: 281-303.
- Machado, E.C. & Knoppers, B.A. 1988. Sediment Oxygen Consumption in an Organic Rich Sub-tropical Lagoon, Brazil. *Science of the Total Environment*, 75: 341-349.
- Nixon, S.W.; Kelly, J.R.; Furnas, B.N.; Oviatt, C.A. & Hale, S.S. 1980. *In: Tenore, K.R. & Hull, B.C. (Eds) Marine Benthic Dynamics*. Univ. South Carolina Press.

- Schettini, C.A.F.; Resgalla Jr., C. & Kuroshima, K.N. 1997. Avaliação Preliminar da Taxa de Sedimentação na Região de Cultivo de Moluscos (*Perna perna*) na Enseada da Armação-SC. Notas Técnicas da Facimar, 1: 01-08.
- Strickland, J.D. & Parsons, T.R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fish. Res. Board. Can. Bull.
- Tenore, K. R.; Corral, J. & Gonzalez, N. 1985. Effects of Intensive Mussel Culture on Food Chain Patterns and Production in Coastal Galicia, NW Spain. Symposium International on Utilization of Coastal Ecosystem. Proceedings. Volume 1: 321-328.