



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOECOLOGIA AQUÁTICA
MESTRADO EM BIOECOLOGIA AQUÁTICA

**ESTUDO COMPARATIVO DE DOIS TIPOS DE CULTIVO:
MONOCULTIVO (CAMARÕES) *VERSUS* CULTIVO INTEGRADO
(ALGAS/ CAMARÕES)**

ALEXANDRA RAFAELA DA SILVA FREIRE

Natal-RN
Dezembro de 2007

ALEXANDRA RAFAELA DA SILVA FREIRE

**ESTUDO COMPARATIVO DE DOIS TIPOS DE CULTIVO:
MONOCULTIVO (CAMARÕES) *VERSUS* CULTIVO INTEGRADO
(ALGAS/ CAMARÕES)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioecologia Aquática, do Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Bioecologia Aquática.

Orientadora: Prof^a Dr^a Eliane Marinho-Soriano

Natal-RN
Dezembro de 2007

Divisão de Serviços Técnicos
Catalogação da Publicação na Fonte / Biblioteca Central Zila Mamede

Freire, Alexandra Rafaela da Silva.

Estudo comparativo de dois tipos de cultivo : monocultivo (camarões) *versus* cultivo integrado (algas/camarões) / Alexandra Rafaela da Silva Freire. – Natal, RN, 2007.

45 p. : il.

Orientador: Eliane Marinho-Soriano.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Bioecologia Aquática.

1. Alga – Dissertação. 2. Camarão – Dissertação. 3. *Gracilaria caudata* – Dissertação. 4. *Litopenaeus vannamei* – Dissertação. 5. Cultivo integrado – Dissertação. 6. Monocultivo – Dissertação. 7. Aquicultura – Dissertação. 8. Biorremediação. – Dissertação. I. Marinho-Soriano, Eliane. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

ALEXANDRA RAFAELA DA SILVA FREIRE

**ESTUDO COMPARATIVO DE DOIS TIPOS DE CULTIVO:
MONOCULTIVO (CAMARÕES) *VERSUS* CULTIVO INTEGRADO
(ALGAS/ CAMARÕES)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioecologia Aquática, do Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Bioecologia Aquática.

Aprovada em 03 de dezembro de 2007

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dra. Eliane Marinho-Soriano (Orientadora)
(Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN)

Prof. Dr. Marcos Rogério Câmara
(Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN)

Prof. Dr. Fúlvio Aurélio de Moraes Freire
(Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA)

Prof^a Dra. Yocie Yoneshigue Valentin
(Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ)

AGRADECIMENTOS

A colaboração, a participação, o apoio e a compreensão de familiares e amigos foram fundamentais para a realização deste trabalho. Desta forma, não poderia deixar de mencionar alguns dos contribuintes.

À Universidade Federal do Rio Grande Norte (UFRN), pela disponibilidade de estrutura física (espaço, equipamentos, material e recursos) e pelo quadro humano (professores e funcionários). Sem estes elementos básicos e essenciais, seria impossível a realização desta pequena contribuição à sociedade.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao Sr. Trigueiro e seu filho Thiago Gaban, pela gentileza de ceder os camarões, sem os quais seria impossível realizar este estudo.

À professora Eliane, que com sua competência me orientou durante todo esse período, no âmbito profissional e no que diz respeito às questões da vida. Obrigada pelas conversas amigas e pela colaboração à minha formação acadêmica.

À equipe de trabalho do Laboratório de Macroalgas (Antonino, Carol, Dina, Geniberto, Leila, Marcella, Tiago e Vinícius), que sempre esteve pronta a ajudar durante a realização do experimento e das análises de água.

À equipe de funcionários, professores e amigos do DOL, sempre dispostos a ajudar e com a qual pude contar: Prof. Graco, Cleide, Gilberto, Sr. Everaldo, Sr. Antônio, Sr. Pedro, Sr. Carlito, Luisa, Sidney, Jussara, Anchieta, Eudriano, Divana, Deyse, Emilly, Garcia. Ao meu amigo Sr. Wellington, com quem sempre tive a honra de conversar, por tudo o que tem feito por mim e pelos meus amigos.

Aos meus companheiros de finais de semana e feriados no laboratório onde foi realizado experimento: Carol, Leila, Tiago, Vinícius, Camila e Lorena. A presença e o apoio de vocês foi essencial nestes momentos.

Aos amigos da Turma 12 do Mestrado em Bioecologia Aquática: Aline, Anita, Arthur, Augusto, Catinha, Dani (Mu), Dany, Margô, Rosemberg, Vanessa e Vinícius. Obrigada pelos inesquecíveis momentos de alegrias, pelo companheirismo nos estudos, pela luta e pelo apoio diante de momentos difíceis.

Aos professores das disciplinas do Mestrado, pela disposição, pelo tempo e atenção dedicados à turma 12.

Ao Professor Marcos Rogério, pela assistência diária durante o experimento, pelas observações e dicas relacionadas ao cultivo dos camarões e pelo conhecimento passado durante a disciplina Nutrição dos Crustáceos.

Ao Professor Fúlvio, pelas aulas de Bioestatística e por ter me acompanhado durante as análises dos dados. Sou muito grata por isso.

À Prof^a Yocie Valentin, por aceitar o convite de participação na banca, por dedicar seu tempo à leitura e às sugestões para a melhoria deste trabalho.

Aos meus pais, Bete e Luciano, e meu irmão, Léo, pelo apoio e compreensão que têm me dado durante a vida. Sou muito grata aos ensinamentos e palavras de conforto e encorajamento provenientes de minha mãe, mulher que tanto admiro pela sua garra e luta. Aos meus avós, tios e primos, pelo carinho e consideração por mim.

Aos meus amigos Sr. Gilmar, Mara e Maiara, pela alegria com a qual sempre me recebem. Ao meu companheiro e grande amigo Giorgi, em quem tenho confiado e dividido momentos de felicidade e tristeza.

Às amigas de longo tempo (Cris, Dê, Ju e Pat), que sempre estiveram dispostas a trocar idéias e com quem sempre posso contar, mesmo quando estamos distantes.

Aos meus amigos do Centro de Biociências, em especial o pessoal da minha turma de Biologia (Pat, Mánu, Lu, Pri, Berg, Juan, Ppeu, Arandi, Ângela, Pri Sanjuan, Gustavo, Geomar, Tiago, Tiba, Drica, Duda, Catcho, Cynthia, Thayse e Daniel), por todos os momentos de descontração e aventuras.

E a todos aqueles que me deram apoio e me estimularam a caminhar, até atingir meus objetivos.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 OBJETIVOS | 16 |
| 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 3 METODOLOGIA | 17 |
| 3.1 ESPÉCIES ESTUDADAS | 17 |
| 3.1.1 <i>Gracilaria caudata</i> J. Agardh (1852) | 17 |
| 3.1.2 <i>Litopenaeus vannamei</i> Boone (1931) | 18 |
| 3.1.3 Estudo experimental | 19 |
| 4 RESULTADOS | 23 |
| 4.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS | 23 |
| 4.1.1 Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido e Salinidade | 23 |
| 4.1.2 Nutrientes inorgânicos dissolvidos na água | 24 |
| 4.1.2.1 Ortofosfato | 24 |
| 4.1.2.2 Íon Amônio | 25 |
| 4.1.2.3 Nitrito | 26 |
| 4.1.2.4 Nitrato | 27 |
| 4.1.2.5 Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) | 28 |
| 4.2 BIOMASSA E TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR) DAS MACROALGAS | 29 |
| 4.3 BIOMASSA E TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR) DOS CAMARÕES | 31 |
| 5 DISCUSSÃO | 33 |
| REFERÊNCIAS | 38 |
| ANEXOS | 43 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | <i>Gracilaria caudata</i> em ambiente natural _____ | 17 |
| Figura 2 | <i>Litopenaeus vannamei</i> _____ | 18 |
| Figura 3 | Representação esquemática do sistema experimental _____ | 19 |
| Figura 4 | Vista aérea dos viveiros de camarões da Fazenda Riomar (a). Viveiro de cultivo de camarões da fazenda (b) _____ | 20 |
| Figura 5 | Concentrações médias e desvio padrão dos níveis de ortofosfato no monocultivo, no cultivo integrado e no controle durante o período de estudo _____ | 24 |
| Figura 6 | Concentrações médias e desvio padrão dos níveis de íon amônio no monocultivo, no cultivo integrado e no controle durante o período de estudo _____ | 25 |
| Figura 7 | Concentrações médias e desvio padrão dos níveis de nitrito no monocultivo, no cultivo integrado e no controle durante o período de estudo _____ | 26 |
| Figura 8 | Concentrações médias e desvio padrão dos níveis de nitrato no monocultivo, no cultivo integrado e no controle durante o período de estudo _____ | 27 |
| Figura 9 | Concentrações médias e desvio padrão dos níveis de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no monocultivo, no cultivo Integrado e no controle durante o período de estudo _____ | 28 |
| Figura 10 | Valores médios e desvio padrão da biomassa de <i>Gracilaria caudata</i> submetida ao cultivo integrado com <i>Litopenaeus vannamei</i> _____ | 29 |
| Figura 11 | Valores médios e desvio padrão da Taxa de Crescimento Relativo (TCR) de <i>Gracilaria caudata</i> submetida ao cultivo integrado com <i>Litopenaeus vannamei</i> _____ | 30 |
| Figura 12 | Valores médios e desvio padrão da biomassa de <i>Litopenaeus vannamei</i> submetido ao monocultivo e ao cultivo integrado com <i>Gracilaria caudata</i> _____ | 31 |
| Figura 13 | Valores médios e desvio padrão da Taxa de Crescimento Relativo (TCR) de <i>Litopenaeus vannamei</i> submetido ao monocultivo e ao cultivo integrado com <i>Gracilaria caudata</i> _____ | 32 |

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** Valores mínimo e máximo e médias dos parâmetros da água no monocultivo (camarões) e cultivo integrado (algas + camarões)_____23
- Tabela 2** Coeficientes de correlação (Spearman, n=26) entre nutrientes nitrogenados e fosfatados inorgânicos e biomassa e TCR de *Gracilaria caudata* _____30

RESUMO

O uso de macroalgas em cultivo integrado com animais é uma prática antiga em países asiáticos. A expansão desta prática em países ocidentais é consequência do reconhecimento desse sistema como uma alternativa que possibilita a diversificação econômica e a mitigação dos impactos gerados pelos efluentes da aquicultura. Este estudo avaliou o crescimento da macroalga *Gracilaria caudata* e do camarão *Litopenaeus vannamei* em monocultivo (camarão) e em cultivo integrado, observando o efeito das algas na qualidade da água. O experimento foi constituído por dois tratamentos (triplicata), realizados em aquários de vidro contendo água do mar ($35,0 \pm 0,0$ PSU e $28,1 \pm 0,4$ °C) durante 28 dias: monocultivo (camarões) e cultivo integrado (camarões/algas). Os nutrientes da água, a biomassa e as taxas de crescimento relativo (TCR, %dia⁻¹) das duas espécies foram determinadas semanalmente. Os parâmetros físico-químicos da água (pH, temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido) foram monitorados diariamente. Os níveis do íon amônio foram significativamente menores (Mann-Whitney $p < 0,001$) no cultivo integrado ($62,8 \pm 25,2$ μM) do que no monocultivo ($85,6 \pm 24,3$ μM). Este mesmo modelo foi observado para o ortofosfato, cujas médias foram $10,4 \pm 4,6$ μM no monocultivo e $8,7 \pm 4,1$ μM no cultivo integrado (Mann-Whitney; $p = 0,024$). O oxigênio dissolvido no cultivo integrado ($6,0 \pm 0,6$ mg/L) foi maior (t-Student; $P = 0,014$) que no monocultivo ($5,8 \pm 0,6$ mg/L). Os parâmetros pH, nitrito, nitrato e nitrogênio inorgânico dissolvido não apresentaram diferença entre os tratamentos, cujas médias foram $7,5 \pm 0,2$, $10,1 \pm 12,2$ μM, $24,5 \pm 3,2$ μM e $120,17 \pm 30,76$ μM no monocultivo e $7,5 \pm 0,2$, $10,5 \pm 13,2$ μM, $27,4 \pm 3,5$ μM e $100,76 \pm 49,59$ μM no integrado. A alga apresentou aumento significativo de biomassa ($15,0 \pm 1,9$ g) e de TCR ($7,4 \pm 2,8$ % dia⁻¹). Os camarões mostraram bom desempenho no monocultivo ($1,5 \pm 0,8$ g; $5,7 \pm 1,6$ % dia⁻¹) e no integrado ($1,5 \pm 0,7$ g; $5,2 \pm 1,2$ % dia⁻¹) e 100% de sobrevivência, não havendo diferença entre ambos (t-student; $p > 0,05$). A tolerância e o bom desempenho de *Gracilaria caudata* em ambientes eutróficos sugerem que essa alga pode ser integrada em sistemas de cultivo de camarões (*Litopenaeus vannamei*).

Palavras-chave: Alga. *Gracilaria caudata*. Camarão. *Litopenaeus vannamei*. Cultivo integrado. Monocultivo. Aquicultura. Biorremediação

ABSTRACT

The integrated culture of seaweed and aquatic animals is an ancient practice in Asian countries. The expansion of this practice to western countries is consequence of the recognition of this system as a sustainable alternative that allows economical diversification and mitigation of environmental impacts generated by effluents of aquaculture. This study evaluated the growth of the seaweed *Gracilaria caudata* and of the shrimp *Litopenaeus vannamei* in monoculture (shrimps) and integrated culture (shrimps and algae) systems, and accessed the effect of the seaweed in the water quality. There were two treatments in the experiment: monoculture (shrimps) and integrated culture (shrimps/ algae). The organisms were cultured in 6 aquaria (10L) filled with seawater (35.0 ± 0.0 PSU and $28.1\pm 0.4^\circ\text{C}$) for 28 days. The nutrients of water (PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- and DIN), the biomass and the relative growth rate (RGR, % day^{-1}) of seaweed and shrimps were measured weekly. The parameters pH, temperature, salinity and dissolved oxygen were measured daily. The concentration of NH_4^+ in integrated culture ($62.8\pm 25.2\mu\text{M}$) was lower (Mann-Whitney $p < 0.001$) than in monoculture ($85.6\pm 24.3\mu\text{M}$). The mean of PO_4^- in monoculture ($10.4\pm 4.6\mu\text{M}$) was markedly higher (Mann-Whitney; $p = 0.024$) than that in integrated culture ($8.7\pm 4.1\mu\text{M}$). The level of dissolved oxygen in integrated culture ($6.0\pm 0.6\text{mg/L}$) was higher (t-Student; $P = 0.014$) than that in shrimp monoculture ($5.8\pm 0.6\text{mg/L}$). The mean values of the parameters pH, NO_2^- , NO_3^- and DIN were 7.5 ± 0.2 , $10.1\pm 12.2\mu\text{M}$, $24.5\pm 3.2\mu\text{M}$ and $120.17\pm 30.76\mu\text{M}$ in monoculture, and 7.5 ± 0.2 , $10.5\pm 13.2\mu\text{M}$, $27.4\pm 3.5\mu\text{M}$ and $100.76\pm 49.59\mu\text{M}$ in integrated culture. There were not differences in these parameters between treatments. The biomass and RGR of seaweed reached $15.0\pm 1.9\text{g}$ and $7.4\pm 2.8\% \text{ day}^{-1}$ at the end of the experiment. The performance of shrimp was favorable in monoculture ($1.5\pm 0.8\text{g}$; $5.7\pm 1.6\% \text{ dia}^{-1}$) and in integrated culture ($1.5\pm 0.7\text{g}$; $5.2\pm 1.2\% \text{ dia}^{-1}$), and the rate of survival was 100% in both treatments. The tolerance and favorable performance of *Gracilaria caudata* suggest that this seaweed might be integrated into shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture systems.

Keywords: Algae. *Gracilaria caudata*. Shrimp. *Litopenaeus vannamei*. Integrated Culture. Monoculture. Aquaculture. Bioremediation.

1 INTRODUÇÃO

A aqüicultura vem sendo praticada no Brasil desde o início do século 20, ganhando cada vez mais destaque na economia nacional. Em 1990, a produção do setor atingiu 30.000 toneladas, aumentando para 176.531 no ano 2000. Em 2003, o setor foi responsável por 28,1% da produção de peixes no país, percentagem consideravelmente maior que a obtida em 1984, 4,3%. Além de peixes, no Brasil também são cultivados outros organismos aquáticos, como crustáceos, moluscos e rãs, totalizando mais de 64 espécies (Food and Agriculture Organization of United Nations- FAO, 2007).

Dentre os crustáceos, a produção de camarões vem contribuindo extensivamente para a economia do país desde a década de 80, principalmente após a introdução de *Litopenaeus vannamei*, no início da década de 90, quando ocorreu um rápido desenvolvimento do setor (FAO, 2007). Em 2003, a exportação de camarões no Brasil atingiu 60.000 toneladas, representando 60,5% da exportação de produtos relacionados à pesca no Brasil, gerando US\$ 230 milhões para a economia brasileira. Estas exportações são direcionadas principalmente para os Estados Unidos (56%), França (18,9%) e Espanha (15,2%) (FAO, 2007).

O cultivo de camarões é uma das atividades econômicas mais importantes na região Nordeste brasileira, onde o produto é o segundo na lista de exportações (FAO, 2007). A Associação Brasileira de Criadores de Camarão relata que entre 2002 e 2003 houve um aumento em 33% no número de fazendas de camarão, e que a maioria destas se localiza na região Nordeste. Pelo fato de o Brasil possuir uma vasta área litorânea, com 8.5 mil quilômetros de extensão, 12% da reserva de água doce do mundo, mais de dois milhões de áreas inundáveis, 25.000 rios, estuários e reservatórios de água adequados à prática (FAO, 2007), o potencial para o aumento do crescimento é ainda maior.

Os benefícios advindos do crescimento do setor são de extrema importância para a economia brasileira. No entanto, há que se ter uma visão mais holística, observando-se também os impactos negativos da prática. Os danos ambientais gerados pela atividade são bons exemplos disso. Estes podem ocorrer tanto durante a fase de implantação das fazendas, quanto durante a fase de execução das atividades relacionadas ao próprio cultivo. Durante a fase de implantação observa-se a destruição de áreas naturais, em geral manguezais, tendo como consequência a

perda de bens e serviços oferecidos pelos ecossistemas. A FAO (2007) relata que algumas fazendas implantadas, recentemente, operaram com sistemas de recirculação de água, ausência de troca de água durante a estação de crescimento (cerca de 3 meses) e que algumas fazendas estão obtendo certificação orgânica, através do cultivo de baixas densidades populacionais de camarões e baseadas no sistema de cultivo integrado, com camarões, peixes, ostras e algas. No entanto, a FAO reconhece que a maioria das fazendas de cultivo de camarão no Brasil não submete seus efluentes aos tratamentos adequados de água, liberando-os em áreas costeiras. Estes efluentes são ricos em sólidos em suspensão, nutrientes, clorofila *a* e apresentam aumento na demanda do oxigênio bioquímico, diminuindo assim a qualidade da água e podendo comprometer a produção dos organismos cultivados e ainda gerar sérios impactos nos ecossistemas onde são liberados (Páez-Osuna, 2001).

As altas concentrações de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo inorgânicos, são provenientes da excreção dos animais e, principalmente das rações. A excreção de nitrogênio por crustáceos ocorre principalmente na forma de amônia, sendo cerca de 61,9% a 84,3% do nitrogênio excretado nesta forma (Jiang *et al*, 2000). A ração é utilizada na produção de camarão do Brasil em cerca de 98% das fazendas de cultivo (FAO, 2007). Dados da literatura indicam que, em média, apenas 25% do nitrogênio e 13% do fósforo contidos na ração são aproveitados pelos animais cultivados, de modo que frações consideráveis destes nutrientes são liberadas em águas costeiras, ou incorporadas ao sedimento (Hargreaves, 1998; Shimoda *et al.*, 2005). Mas não é só a porção não assimilada da ração que contribui para o aumento das concentrações de nutrientes na água. Segundo Montoya *et al* (1999; 2000), o simples contato com meio aquático tem como consequência a lixiviação (“*leaching*”) de parte do fósforo inorgânico, que se dissolve no meio. Além disso, parte do fósforo e do nitrogênio são perdidos da ração para o meio através da desintegração das partículas, e a taxa de ocorrência deste processo é inversamente proporcional à estabilidade da ração. Este parâmetro é muito importante, pois a manipulação da ração, antes ou durante a atividade alimentar do camarão, é um fator que influencia na perda de nutrientes para o meio. Além da estabilidade, a atratividade da ração é outro fator que influencia sua degradação, uma vez que a permanência de *pellets* não ingeridos no meio leva à desintegração do N e do P como ração particulada e à liberação de P inorgânico dissolvido, devido à lixiviação.

A decomposição da porção nitrogenada da matéria orgânica da ração dá origem à amônia, através da reação de amonificação. A amônia é convertida a íon amônio através de uma reação de hidratação ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$), devido à sua natureza instável em meios aquáticos de pH neutro. Em meios aeróbios, este composto sofre oxidação por ação bacteriana (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*), que o converte a nitrito e, posteriormente, a nitrato, processo denominado nitrificação (Esteves, 1998). Assim, a excreção de animais e a ração podem contribuir consideravelmente para o aumento de compostos inorgânicos fosfatados (ortofosfato) e nitrogenados (íon amônio/ amônia, nitrito e nitrato) no meio aquático. Estes compostos têm recebido pouca atenção em estudos de efluentes, por não serem facilmente mensuráveis, nem visíveis (Chopin *et al.*, 2001). Apesar disso, o excesso destes não deixa de representar um risco à vida dos organismos cultivados.

Quando presentes em altas concentrações no meio aquático, a amônia e o nitrito podem ser tóxicos aos organismos. A amônia pode causar a diminuição do crescimento e até mesmo a morte dos camarões e de outros organismos, como macroalgas e peixes (Hargreaves, 1998; Peckol e Rivers, 1995; Shishehchian *et al.*, 1999), enquanto o nitrito pode impedir a circulação de oxigênio no sangue dos peixes, devido à formação da metahemoglobina (Hargreaves, 1998). Além desses efeitos, as altas concentrações desses nutrientes constituem condições estressantes que, ao interagirem com a alta densidade de animais cultivados em sistemas de monocultivo, favorecem o aparecimento de doenças (Chopin *et al.*, 2001).

Além do perigo potencial que esses compostos acumulados representam para a produção e para o meio ambiente onde os efluentes são liberados, a baixa taxa de aproveitamento da ração pelos animais é um fato que, em termos reais, representa uma verdadeira perda de dinheiro para o produtor (Chopin *et al.*, 2001), já que a ração é um dos insumos mais caros utilizados na aquicultura (Spaargaren, 1997). O cultivo integrado representa uma alternativa para amenizar estes problemas, já que tem como premissa básica a incorporação de funções biológicas e ambientais de um grupo diverso de organismos em um sistema unificado, que mantém as interações naturais das espécies e permite o ecossistema funcionar de modo sustentável (Chopin *et al.*, 2001).

O cultivo integrado é um conceito antigo, e vem sendo praticado em países asiáticos por séculos, através de tentativas e erro e experiências (Chopin *et al.*, 2001). Na China, por exemplo, os resíduos são tratados como recursos valiosos a

serem reutilizados, e a prática do cultivo integrado tem se tornado mais refinada, como consequência do desenvolvimento de políticas de desenvolvimento rural e agrícola, implementadas desde 1949. Estas políticas foram motivadas pela necessidade de maximizar a produtividade por unidade de terra e de corpos d'água e foram baseadas na auto-dependência diversificada da produção de alimentos e matéria-prima básica e na filosofia baseada na idéia de que os resíduos de um recurso devem se transformar em investimento em outro uso de recursos (Chopin *et al.*, 2001). Esta idéia está presente no cultivo de organismos consumidores, como peixes e camarões, em conjunto com organismos filtradores, ou seja, que obtêm seus nutrientes orgânicos e/ou inorgânicos a partir do meio em que vivem, como ocorre com algumas espécies de moluscos e de algas. Desta maneira, os resíduos de organismos consumidores são reciclados através da absorção pelos organismos biofiltradores, havendo a conversão de compostos residuais em recursos energéticos - fertilizantes ou alimentos (Chopin *et al.*, 2001).

O sucesso e as vantagens cultivo integrado vêm sendo cada vez mais reconhecidos, não só em países orientais, mas também no Ocidente, principalmente nas últimas décadas, quando a preocupação com os impactos antropogênicos ao meio ambiente vem aumentando.

As macroalgas são potenciais assimiladoras do excesso de nutrientes provenientes da agricultura e da aquicultura que, quando presentes no meio aquático, modificam as concentrações de oxigênio, de gás carbônico e, conseqüentemente, o pH da água (FAO, 2003). A utilização de determinadas espécies de macroalgas resistentes às condições do ambiente de policultura, em quantidades adequadas, melhora as condições da água residual do cultivo (Quian *et al.*, 1996; Troell *et al.*, 1997; Neori *et al.*, 1996; Neori *et al.*, 1998; Neori *et al.*, 2000; Hernández, I. *et al.*, 2002; Martínez-Aragón *et al.*, 2002; Langdon *et al.*, 2004). Além disso, estudos anteriores mostram que macroalgas cultivadas próximo a gaiolas de cultivo de peixes apresentam taxa de crescimento 40% superior à taxa de crescimento daquelas cultivadas a 1 Km de distância (Troell *et al.*, 1997). Desta maneira, ocorrem benefícios para ambos, tanto o organismo filtrador, quanto para o consumidor. No caso das macroalgas, a conversão dos nutrientes residuais da ração em biomassa e recursos bioquímicos suscetíveis de serem vendidos, aumenta a renda e gera benefícios que podem compensar os custos de produção, já que, dependendo da espécie, apresentam ampla aplicação industrial (Chopin *et al.*, 2001).

Os produtos obtidos das macroalgas são diversos e podem ser utilizados como recursos econômicos, avaliados em cerca de U\$S 5.5-6 bilhões anuais (FAO, 2003). Desta quantia, cerca de U\$S 5 bilhões são provenientes da indústria alimentícia humana; cerca de U\$S 585 milhões provém da extração de hidrocolóides e o restante, do uso de macroalgas para fins diversos, como fertilizantes e aditivos alimentares para animais (FAO, 2003).

As macroalgas podem estar presentes nas zonas intertidais e sublitorais, desde que estas sejam iluminadas pelos raios solares, em mares de todo o mundo, sendo mais abundantes e diversificadas em algumas regiões do planeta. O Nordeste brasileiro apresenta, em sua área litorânea, condições ambientais que favorecem a presença abundante e diversificada de macroalgas, como a presença de substratos rochosos, formações recifais e águas com temperatura e transparência adequadas à vida destes organismos. (Pereira, 1996). No Rio Grande do Norte, alguns estudos vêm sendo conduzidos usando macroalgas. Estes estudos abordam vários aspectos, dentre estes, o potencial de produção de agarófitas e o cultivo integrado de animais (*Litopenaeus vannamei* e *Artemia franciscana*) com macroalgas, especialmente as dos gêneros *Gracilaria* e *Ulva* (Marinho-Soriano *et al.*, 2002; Marinho-Soriano *et al.*, 2005), obtendo-se resultados satisfatórios e gerando perspectivas para o cultivo integrado de animais com macroalgas. Entretanto, o estudo de algumas espécies com potencial para o cultivo integrado ainda está em fase inicial, como é o caso da agarófita *Gracilaria caudata* (Rhodophyta).

2 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo avaliar o crescimento da macroalga *Gracilaria caudata* e do camarão *Litopenaeus vannamei* em monocultivo (camarão) e em cultivo integrado e analisar o efeito das algas na qualidade da água de cultivo.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o desempenho de crescimento de *G. caudata* e *L. vannamei* nos diferentes tratamentos;
- Analisar o efeito dos nutrientes (PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^-) sobre o crescimento de *G. caudata*;
- Comparar os parâmetros físico-químicos da água entre os dois tratamentos (cultivo integrado e monocultivo);
- Verificar se a macroalga *G. caudata* contribui para a melhoria da qualidade da água.

3 METODOLOGIA

3.1 ESPÉCIES ESTUDADAS

3.1.1 *Gracilaria caudata* J. Agardh (1852)

A macroalga *Gracilaria caudata* (**Figura 1**) é uma Rhodophyta de hábito geralmente gregário, comumente encontrada em costões rochosos ou parcialmente enterradas na areia das zonas mediolitoral ou infralitoral, principalmente em águas túrbidas e baías protegidas. No Brasil, é encontrada ao longo de quase toda a costa litorânea, apresentando como limite sul o estado de Santa Catarina (28°S); registros da espécie foram também encontrados na Venezuela, em Barbados, Porto Rico e Cuba (Plastino e Oliveira, 1997).

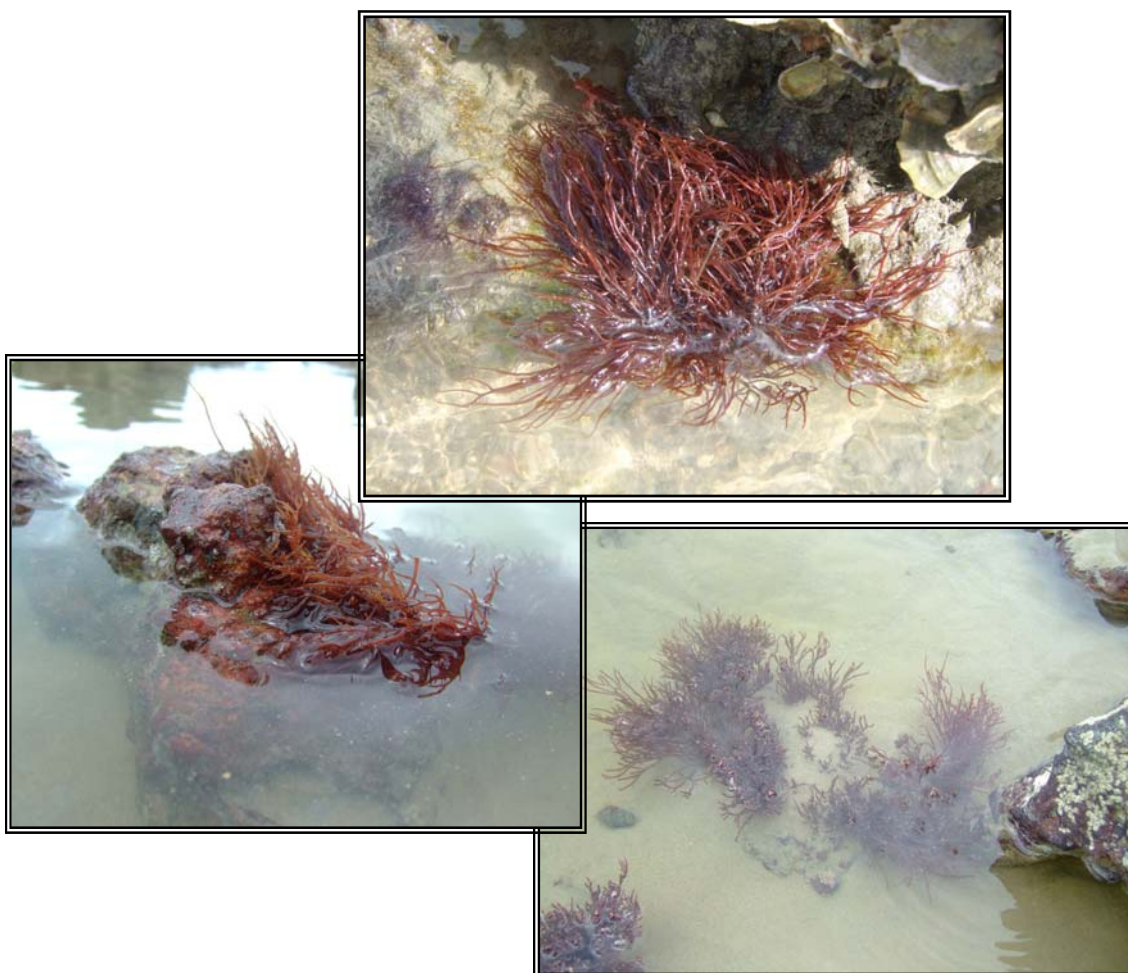


Figura 1 *Gracilaria caudata* em ambiente natural.

3.1.2 *Litopenaeus vannamei* Boone (1931)

O camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (**Figura 2**) é naturalmente encontrado desde a porção leste do Oceano Pacífico, na altura de Sonora, no México, até o norte do Peru. Pode ser encontrado desde o infralitoral, até profundidades de 72 m, apresentando preferência por fundos de lama (Ostrensky Neto & Barbieri Júnior, 2002). O *Litopenaeus vannamei* é a espécie comercial mais explorada no sul do México, Guatemala e El Salvador e a mais cultivada do Hemisfério Ocidental, sendo bem conhecida e aceita no mercado internacional. Isto porque além de apresentar carne de excelente qualidade, devido ao sabor, coloração e firmeza característicos, é uma espécie eurihalina que suporta uma elevada amplitude térmica (entre 9°C e 34°C), adaptando-se a variadas condições de cultivo (Ostrensky Neto & Barbieri Júnior, 2002).



Figura 2 *Litopenaeus vannamei*

3.1.3 Estudo experimental

Para a realização deste estudo foram utilizados sete aquários de vidro (20cm x 20cm x 30cm) contendo 10 litros de água do mar ($35,0 \pm 0,0$ PSU e $28,1 \pm 0,4^\circ\text{C}$) submetidos à aeração e fotoperíodo (12 horas claro: 12 horas escuro) artificial. O desenho experimental foi constituído por dois tratamentos em 3 repetições: monocultivo (camarão) e cultivo integrado (camarão/alga), mais um aquário contendo apenas a água do mar, que serviu como controle (**Figura 3**). As macroalgas e a água do mar foram coletadas na Praia de Mãe Luisa ($5^\circ47'07''\text{S}$; $35^\circ11'01''\text{O}$), em Natal, e os camarões foram obtidos na fazenda de cultivo comercial Riomar, em Ceará-Mirim ($5^\circ37'38,4''\text{S}$; $35^\circ19'20''\text{O}$) (**Figura 4**). A salinidade da água do mar, que apresentou média de 38 PSU, foi diluída para 35 PSU.

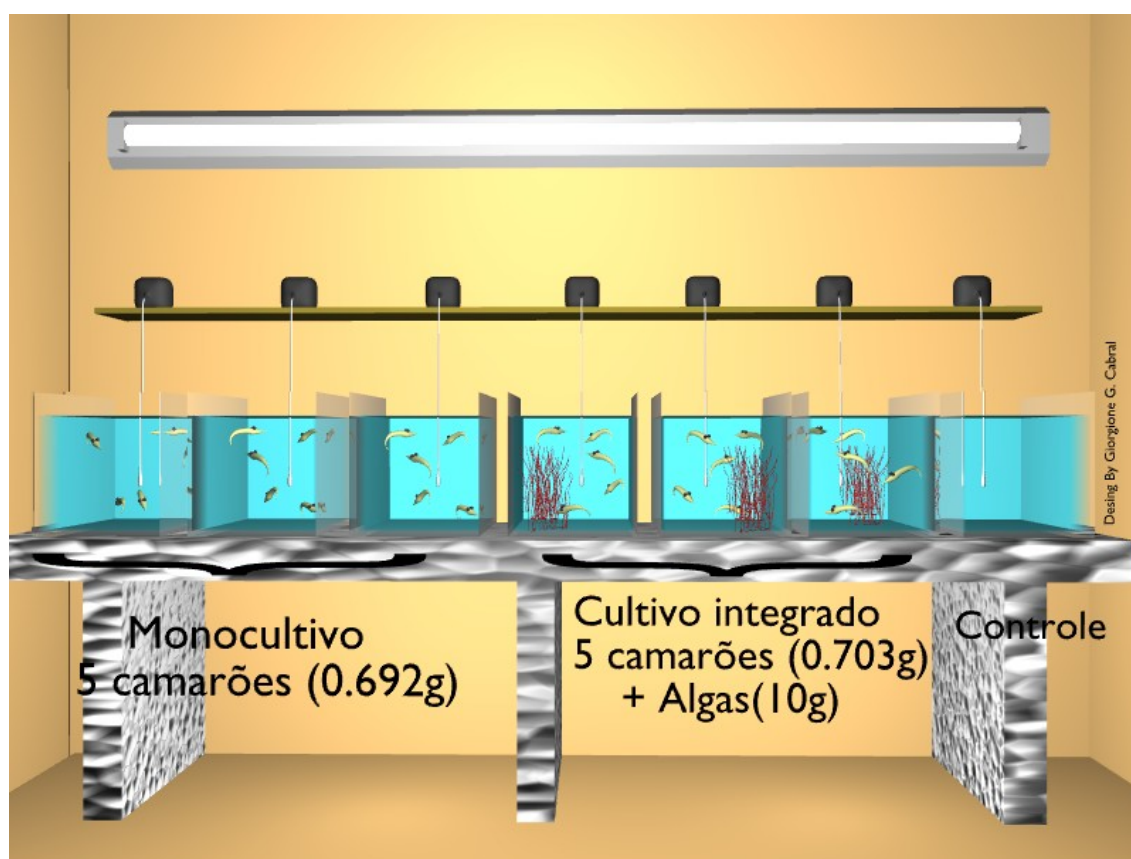


Figura 3 Representação esquemática do sistema experimental.

Em cada aquário foram estocados cinco camarões com biomassa inicial de $0,70 \pm 0,11\text{g}$; no tratamento integrado, além dos camarões, foram utilizados 10g de

G. caudata. Os camarões foram alimentados com ração artificial (Cameronina 40 CR 2, Purina do Brasil[®]) duas vezes ao dia, em um regime alimentar *ad libitum*. A tabela com as características nutricionais da ração se encontra no **Anexo I**.



Figura 4 Vista aérea dos viveiros de camarões da Fazenda Riomar (a). Viveiro de cultivo de camarões da fazenda (b).

Semanalmente, a biomassa de cada indivíduo foi mensurada com uma balança de precisão de 3 dígitos decimais (Marte, 0,001g). A partir dos valores obtidos, calculou-se o Ganho de Peso (Velasco *et al*, 1999), que serviu de base para o cálculo da taxa de crescimento diário (TCR) (Kumaraguru Vasagam *et al.*, 2005):

$$\text{Ganho de Peso} = \text{Peso Final} - \text{Peso Inicial}$$

$$\text{TCR (\% dia}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Ganho de Peso Úmido}}{\text{Dias Experimentais}} \times 100$$

Ao final do experimento, o número de animais vivos foi observado para constatar a taxa de sobrevivência, definida por Bautista-Teruel *et al* (2003):

$$\text{Percentual de sobrevivência (\%)} = \frac{\text{Número final de camarões}}{\text{Número inicial de camarões}} \times 100$$

As macroalgas também foram submetidas às aferições semanais da biomassa, de acordo com a equação proposta por Dawes (1998):

$$\text{TCR (\% dia}^{-1}\text{)} = \frac{[(\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) / \text{Peso inicial}]}{\text{Tempo}} \times 100$$

Os parâmetros físico-químicos da água (pH, temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido) foram monitorados diariamente (sonda multiparâmetro Horiba), enquanto que os nutrientes (ortofosfato, íon amônio, nitrito, nitrato e nitrogênio

inorgânico dissolvido), semanalmente. As amostras de água coletadas para as análises dos nutrientes foram filtradas com microfiltro fibra de vidro (47mm) e conservadas a 0°C até o momento das análises (Strickland & Parsons, 1972). Ao final de cada período semanal foram realizadas trocas de 50% do volume dos aquários. No 12° e no 13° dias de estudo foram realizadas trocas de 20% do volume de cada aquário; a partir do 14° dia essas foram realizadas diariamente, a uma taxa de 10% do volume, devido ao aspecto turbido da água, que dificultava a sifonação. As trocas de água foram realizadas tanto nos tratamentos, quanto no controle, para verificar as concentrações de nutrientes originais da água (independentes do arraçoamento) e possíveis reações metabólicas que os envolvesse. O experimento teve duração de 28 dias e foi realizado no Laboratório de Macroalgas, localizado no Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Os dados resultantes do experimento foram analisados quanto à normalidade (Kolmogorov–Smirnov) e homocedasticidade (Levene) antes da aplicação dos testes estatísticos. As diferenças entre os níveis de tratamento (monocultivo e cultivo integrado) foram determinadas através dos testes paramétrico (*t*-Student), ou não-paramétrico (Mann-Whitney). A existência de diferenças estatísticas semanais dos parâmetros da água para cada tratamento foi obtida pela análise de variância (ANOVA *one way*) ou seu correspondente não paramétrico (Kruskal-Wallis), enquanto os dados referentes aos valores de biomassa e TCR das macroalgas e dos camarões foram analisados através da análise de variância para amostras repetidas (ANOVA *One Way Repeated Measures* e ANOVA *Friedman Repeated Measures*). Quando estes testes indicaram a existência de diferença significativa em nível de significância de 0,05, os testes *post hoc* Student-Newman-Keuls e Dunn foram utilizados para identificar as diferenças semanais (SigmaStat 3.0[®] e Statistica 6.0[®]). Os dados relativos aos nutrientes e à biomassa e TCR das algas foram submetidos a testes de correlação de Spearman, em nível de significância de 0,05.

4 RESULTADOS

4.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS

4.1.1 Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido e Salinidade

Os parâmetros ambientais temperatura, pH e oxigênio dissolvido apresentaram variações semanais nos dois tratamentos (**Anexos II e III**). As médias desses parâmetros no monocultivo foram $28,09 \pm 0,43^{\circ}\text{C}$, $7,46 \pm 0,19$ e $5,76 \pm 0,55$ mg L^{-1} , respectivamente, e no cultivo integrado foram $28,09 \pm 0,42^{\circ}\text{C}$, $7,50 \pm 0,15$ e $6,04 \pm 0,62$ mg L^{-1} . Apesar das diferenças semanais, observou-se uma pequena amplitude entre os valores mínimo e máximo da temperatura e do pH (**Tabela 1**). A salinidade, cujo valor obtido foi 35 PSU, foi o único parâmetro que permaneceu constante ao longo de todo o experimento. A temperatura, o pH e a salinidade não diferiram entre os aquários onde só havia camarões (monocultivo) e os aquários onde havia algas e camarões (cultivo integrado). No entanto, foi observado que o nível de oxigênio dissolvido foi significativamente maior (t-Student, $t = -2,489$, $p = 0,014$) no cultivo integrado ($6,04 \pm 0,62$ mg L^{-1}) do que no monocultivo ($5,76 \pm 0,55$ mg L^{-1}).

Tabela 1. Valores mínimo e máximo, médias e desvios padrões dos parâmetros da água no monocultivo (camarões) e no cultivo integrado (algas + camarões)

| Parâmetros | Monocultivo | | Cultivo integrado | |
|--|---------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | mínimo-máximo | média (\pm d.p.) | mínimo-máximo | média (\pm d.p.) |
| Ambientais | | | | |
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | 27,00-29,00 | $28,09 \pm 0,43$ | 27,00-29,00 | $28,09 \pm 0,42$ |
| pH | 7,07-7,90 | $7,46 \pm 0,19$ | 7,27-7,90 | $7,50 \pm 0,15$ |
| Salinidade | 35,00-35,00 | $35,00 \pm 0,00$ | 35,00-35,00 | $35,00 \pm 0,00$ |
| Oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) | 4,20-6,90 | $5,76 \pm 0,55$ | 4,80-7,20 | $6,04 \pm 0,62$ |
| Ortofosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$) | 0,13-27,32 | $10,36 \pm 4,63$ | 0,13-23,14 | $8,70 \pm 4,12$ |
| Íon amônio ($\mu\text{mol L}^{-1}$) | 10,31- 102,17 | $85,60 \pm 24,30$ | 10,31-91,96 | $62,81 \pm 25,20$ |
| Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$) | 0,00-37,87 | $10,08 \pm 12,23$ | 0,00-36,01 | $10,54 \pm 13,22$ |
| Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$) | 19,27-29,56 | $24,49 \pm 3,19$ | 9,16-64,24 | $27,41 \pm 3,52$ |
| NID ($\mu\text{mol L}^{-1}$) | 39,55-163,46 | $120,17 \pm 30,76$ | 39,55-184,79 | $100,76 \pm 49,59$ |

4.1.2 Nutrientes inorgânicos dissolvidos na água

4.1.2.1 Ortofosfato

No monocultivo os níveis de ortofosfato aumentaram significativamente a partir de uma concentração inicial de $0,22 \pm 0,12 \mu\text{mol L}^{-1}$, atingindo $22,73 \pm 2,49 \mu\text{mol L}^{-1}$ (**Figura 5**). A dinâmica desse nutriente foi similar no cultivo integrado, embora os valores tenham sido inferiores (média de $8,70 \pm 4,12 \mu\text{mol L}^{-1}$) àqueles alcançados no monocultivo (média de $10,36 \pm 4,63 \mu\text{mol L}^{-1}$) (**Tabelas 1**). As respectivas concentrações mínima e máxima foram $0,13 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $23,14 \mu\text{mol L}^{-1}$ para o cultivo integrado e $0,13 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $27,32 \mu\text{mol L}^{-1}$ para o monocultivo. O ortofosfato manteve-se constante e com baixas concentrações no controle.

Houve diferença significativa entre os níveis do ortofosfato no monocultivo e no cultivo integrado (Mann-Whitney, $T = 813,00$, $p = 0,024$), sendo a concentração deste nutriente no cultivo integrado 23,01% menor em relação à concentração do monocultivo.

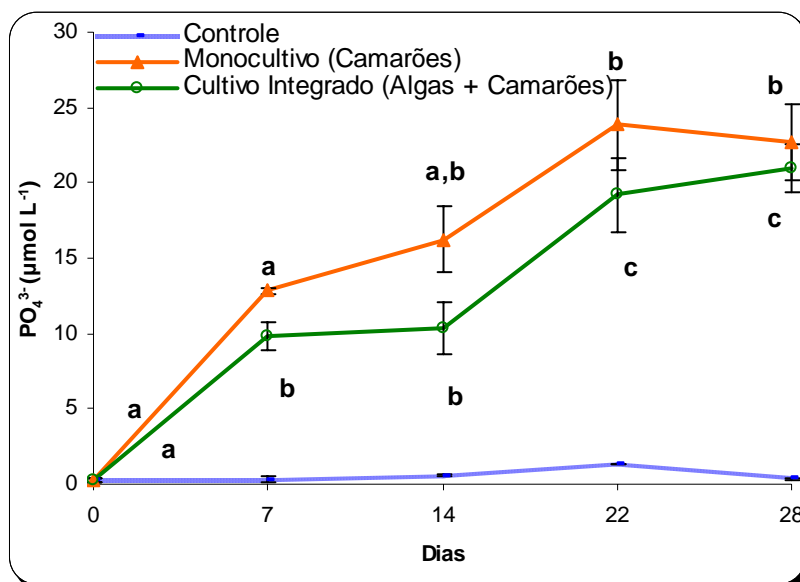


Figura 5 Concentrações médias e desvio padrão dos níveis de ortofosfato no monocultivo, no cultivo integrado e no controle durante o período de estudo. Letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as médias semanais para cada tratamento.

4.1.2.2 Íon Amônio

As concentrações do íon amônio aumentaram de modo significativo em ambos os tratamentos (**Figura 6**). No cultivo integrado estas concentrações foram 28,34% menores que no monocultivo, havendo uma diferença significativa entre ambos (Mann-Whitney, $T = 885,50$, $p < 0,001$). No controle foi observada uma diminuição do nutriente entre o início e 14º dia, ocorrendo posteriormente um leve aumento, atingindo $16,54 \mu\text{mol L}^{-1}$. Estas oscilações certamente são inerentes aos processos que ocorrem naturalmente na água.

Os valores médios deste nutriente para o período de estudo foram $62,81 \pm 25,20 \mu\text{mol L}^{-1}$, no cultivo integrado e $85,60 \pm 24,30 \mu\text{mol L}^{-1}$ no monocultivo, e os valores mínimo e máximo foram, respectivamente, $10,31 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $102,17 \mu\text{mol L}^{-1}$ no monocultivo e $10,31 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $91,96 \mu\text{mol L}^{-1}$ no cultivo integrado (**Tabela 1**).

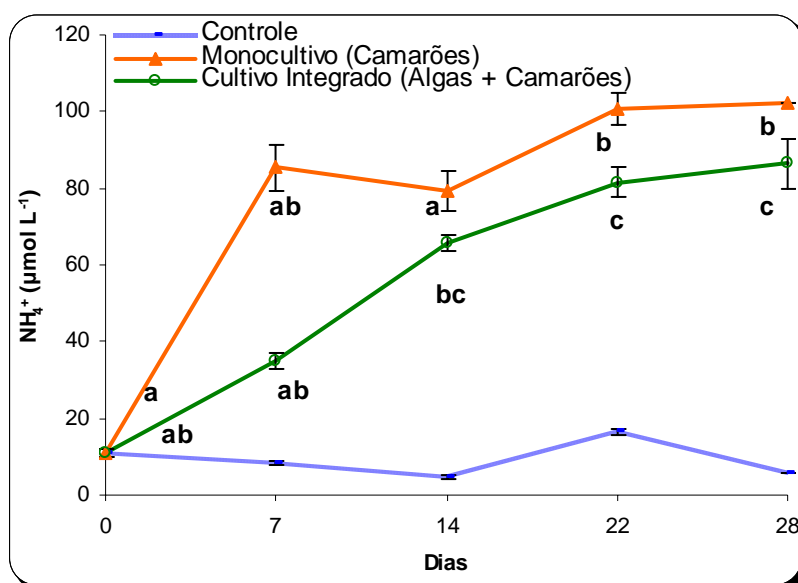


Figura 6 Concentrações médias e desvio padrão dos níveis de íon amônio no monocultivo, no cultivo integrado e no controle durante o período de estudo. Letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as médias semanais para cada tratamento.

4.1.2.3 Nitrito

Os níveis de nitrito nos dois tratamentos foram relativamente baixos, do início do experimento até o 14º dia. Após esse período, foi observado um aumento significativo, atingindo $29,31 \pm 8,10 \mu\text{mol L}^{-1}$ no monocultivo e $32,72 \pm 3,35 \mu\text{mol L}^{-1}$ no cultivo integrado (**Figura 7**). Não houve diferença entre as concentrações de nitrito dos dois tratamentos (Mann-Whitney, $T = 755,000$ $p = 0,231$).

Os valores máximos de nitrito obtidos foram $37,87 \mu\text{mol L}^{-1}$ para o monocultivo e $36,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ para o cultivo integrado (**Tabela 1**). Não foi detectada a presença de nitrito em ambos os tratamentos no início do estudo. As médias para o monocultivo e o cultivo integrado foram $10,08 \pm 12,23 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $10,54 \pm 13,22 \mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente. Os níveis de nitrito no controle foram sempre baixos, com valor máximo de $2,48 \pm 0,17 \mu\text{mol L}^{-1}$, no 22º dia.

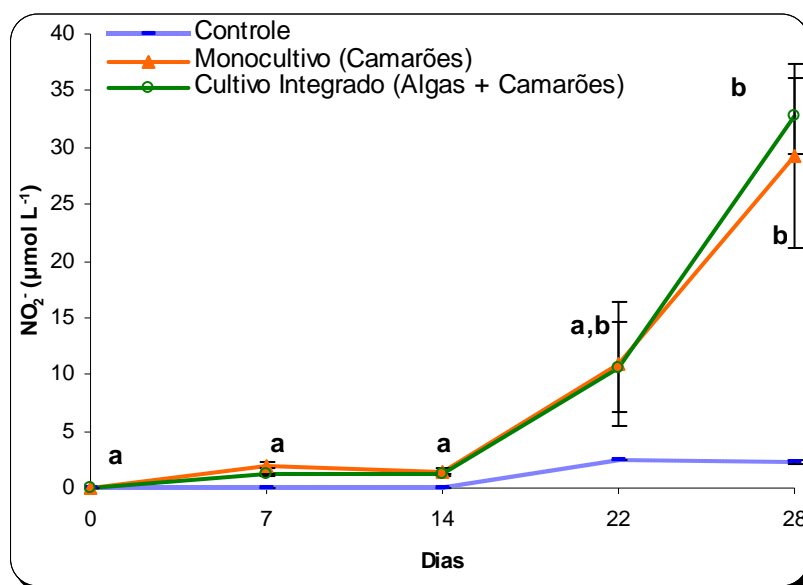


Figura 7 Concentrações médias e desvio padrão dos níveis de nitrito no monocultivo, no cultivo integrado e no controle durante o período de estudo. Letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as médias semanais para cada tratamento.

4.1.2.4. Nitrato

Os dois tratamentos apresentaram padrões de concentração de nitrato bem diferentes. No monocultivo, o nitrato manteve-se relativamente constante, havendo apenas uma diminuição após o 7º dia (**Figura 8**). No cultivo integrado os valores diminuíram em relação à concentração inicial, ocorrendo um decréscimo de 28,8% do nutriente em relação ao monocultivo no 7º dia. Após esse período ocorreu o aumento gradual da concentração, e aos 28 dias de experimento houve um aumento considerável, chegando a alcançar $57,88 \mu\text{mol L}^{-1}$. Estas diferentes concentrações semanais no cultivo integrado diferiram significativamente. A média do nitrato foi $24,49 \pm 3,19 \mu\text{mol L}^{-1}$ para o monocultivo e $27,41 \pm 3,52 \mu\text{mol L}^{-1}$ para o cultivo integrado (**Tabela 1**). Os níveis mínimo e máximo do nutriente foram $19,27 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $29,56 \mu\text{mol L}^{-1}$ no monocultivo e $9,16 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $64,24 \mu\text{mol L}^{-1}$ no cultivo integrado. No controle, o nitrato permaneceu constante durante maior parte do experimento, aumentando apenas no último dia.

Apesar dos valores desiguais observados para as concentrações de nitrato, não houve diferença estatística entre os tratamentos (Mann-Whitney, $T = 772,000$, $p = 0,131$).

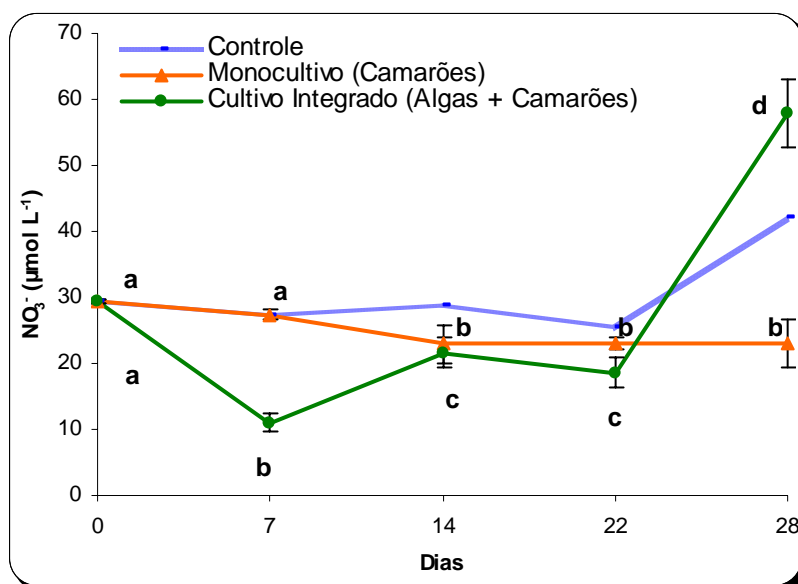


Figura 8 Concentrações médias e desvio padrão dos níveis de nitrato no monocultivo, no cultivo integrado e no controle durante o período de estudo. Letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as médias semanais para cada tratamento.

4.1.2.5 Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID)

Durante o experimento, foi observado um aumento gradual da concentração do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) em ambos os tratamentos, refletindo a evolução das concentrações das formas nitrogenadas NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- (**Figura 9; Tabela 1**). Em geral, estes valores foram maiores no monocultivo, exceto no 28º dia, quando o nível de NID obtido no cultivo integrado foi superior, em decorrência das altas concentrações de nitrato neste tratamento (Figura 6). Não houve diferença entre os tratamentos (Mann-Whitney, $T = 791,00$, $p = 0,063$). Os níveis de NID no controle permaneceram baixos em relação aos dos tratamentos nos quais houve arraçoamento.

O valor mínimo de NID em ambos os tratamentos foi $39,55 \mu\text{mol L}^{-1}$ e o máximo, $163,46 \mu\text{mol L}^{-1}$ para o monocultivo e $184,79 \mu\text{mol L}^{-1}$ para o cultivo integrado. A média para o monocultivo foi $120,17 \pm 30,76 \mu\text{mol L}^{-1}$ e para o cultivo integrado, $100,76 \pm 49,59 \mu\text{mol L}^{-1}$.

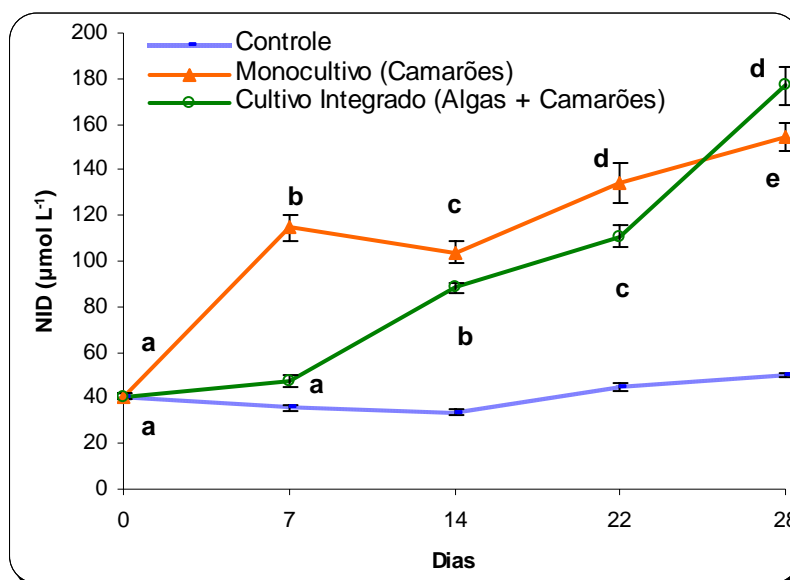


Figura 9 Concentrações médias e desvio padrão dos níveis de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no monocultivo, no cultivo integrado e no controle durante o período de estudo. Letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as médias semanais para cada tratamento.

4.2 BIOMASSA E TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR) DAS MACROALGAS

A variação de biomassa da macroalga (10,000g no início do experimento e 15,012g na última semana) (**Figura 10**) e média de crescimento ($12,296 \pm 1,904\text{g}$) durante o período de estudo são indicativos do bom desempenho da espécie, que apresentou taxa de crescimento relativa média de $4,099 \pm 2,320 \text{ \% dia}^{-1}$. O crescimento lento das algas na primeira quinzena deu lugar ao aumento de biomassa significativo durante a segunda quinzena (ANOVA *one way* para amostras repetidas, $F=10,311$; $p = 0,003$), com valores de TCR variando de modo significativo entre $2,094 \pm 0,388 \text{ \% dia}^{-1}$, no 7º dia e $7,160 \pm 2,770\% \text{ dia}^{-1}$ no 28º dia (ANOVA *one way* para amostras repetidas, $F=7,259$; $p = 0,020$) (**Figura 11**).

Correlações positivas e significativas (Spearman) foram observadas entre a biomassa e os nutrientes ortofosfato, amônio, nitrito, e NID, bem como entre a TCR e os nutrientes ortofosfato, amônio, nitrito, nitrato e NID (**Tabela 3**).

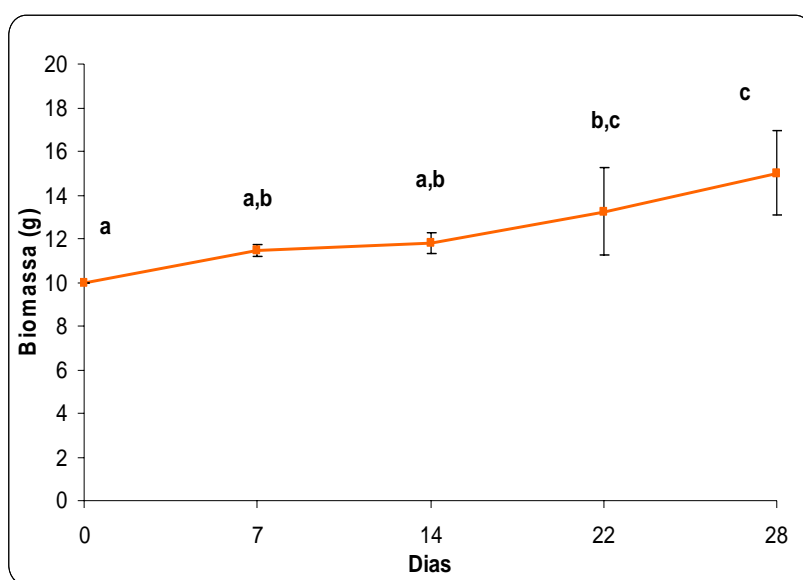


Figura 10 Valores médios e desvio padrão da biomassa de *Gracilaria caudata* submetida ao cultivo integrado com *Litopenaeus vannamei*. Letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre os valores médios semanais.

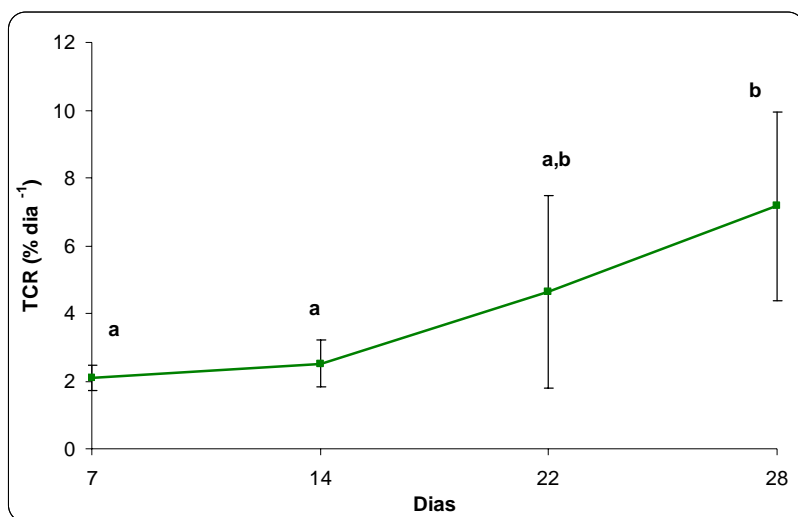


Figura 11 Valores médios e desvio padrão da Taxa de Crescimento Relativo (TCR) de *Gracilaria caudata* submetida ao cultivo integrado com *Litopenaeus vannamei*. Letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre os valores médios semanais.

Tabela 2 Coeficientes de correlação (Spearman, n=26) entre nutrientes nitrogenados e fosfatados inorgânicos e biomassa e taxa de crescimento relativo de *Gracilaria caudata*

| Fatores abióticos (Nutrientes) | Fatores bióticos | r | p |
|--------------------------------|------------------|--------|--------|
| Ortofosfato | Biomassa | 0,624* | <0,000 |
| | TCR | 0,521* | 0,009 |
| Íon amônio | Biomassa | 0,611* | <0,000 |
| | TCR | 0,505* | 0,012 |
| Nitrito | Biomassa | 0,720* | <0,000 |
| | TCR | 0,644* | <0,000 |
| Nitrato | Biomassa | 0,438 | 0,025 |
| | TCR | 0,613* | 0,001 |
| NID | Biomassa | 0,726* | <0,000 |
| | TCR | 0,652* | <0,000 |

*Correlação significativa ($p < 0,05$)

4.3 BIOMASSA E TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR) DOS CAMARÕES

Os valores mínimo e máximo para a biomassa dos camarões foram 0,499g e 3,271g no monocultivo e 0,544g e 3,616g no cultivo integrado, respectivamente, sendo observados aumentos graduais e significativos da biomassa para o monocultivo (Friedman; $X^2 = 59,25$, $p < 0,001$) e para o cultivo integrado (Friedman; $X^2 = 60,00$, $p < 0,001$) (**Figura 12**). Considerando-se todo o período de estudo, os camarões dos tratamentos monocultivo e cultivo integrado apresentaram $1,538 \pm 0,754$ g e $1,497 \pm 0,720$ g como os respectivos valores médios de biomassa.

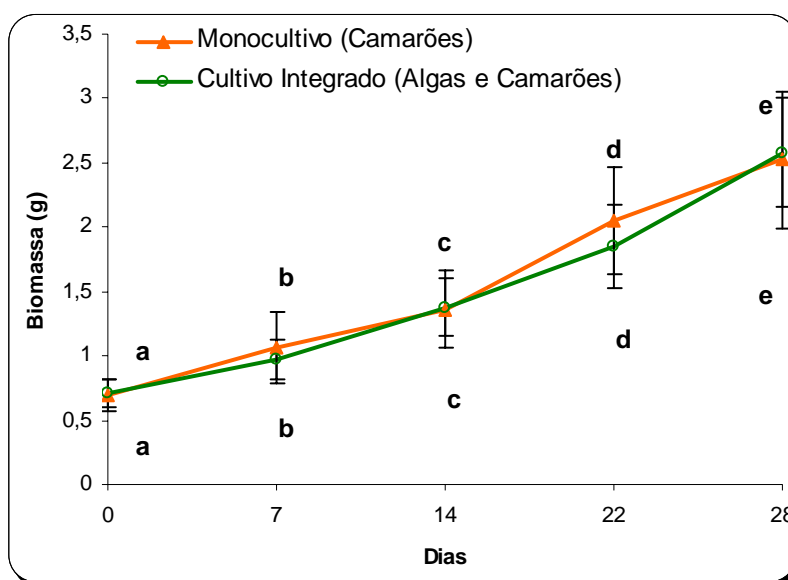


Figura 12 Valores médios e desvio padrão da biomassa de *Litopenaeus vannamei* submetido ao monocultivo e ao cultivo integrado com *Gracilaria caudata*. Letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre os valores médios semanais para cada tratamento.

As TCRs obtidas para o cultivo integrado variaram entre $3,540\% \text{ dia}^{-1}$ e $7,722\% \text{ dia}^{-1}$, enquanto no monocultivo se situaram entre $1,994\% \text{ dia}^{-1}$ e $7,424\% \text{ dia}^{-1}$. Os valores alcançados para as TCRs dos camarões submetidos ao cultivo integrado aumentaram consideravelmente ao longo do estudo (Friedman; $X^2 = 9,00$, $p = 0,002$), porém isto não foi observado para o monocultivo (ANOVA *one way* para amostras repetidas $F = 1,473$, $p = 0,313$) (**Figura 13**). Valores médios de $5,701 \pm 1,602\% \text{ dia}^{-1}$ e $5,159 \pm 1,187\% \text{ dia}^{-1}$ foram alcançados para TCR dos camarões submetidos ao monocultivo e ao cultivo integrado, respectivamente.

Não foi detectada diferença estatística entre a biomassa dos camarões no monocultivo e no cultivo integrado (t -Student pareado, $t = 1,583$, $p = 0,118$), nem tampouco da TCR dos animais nestes tratamentos (t -Student pareado, $t = 1,305$, $p = 0,218$).

Não foi observada mortalidade dos animais durante o estudo (100% de sobrevivência em ambos os tratamentos).

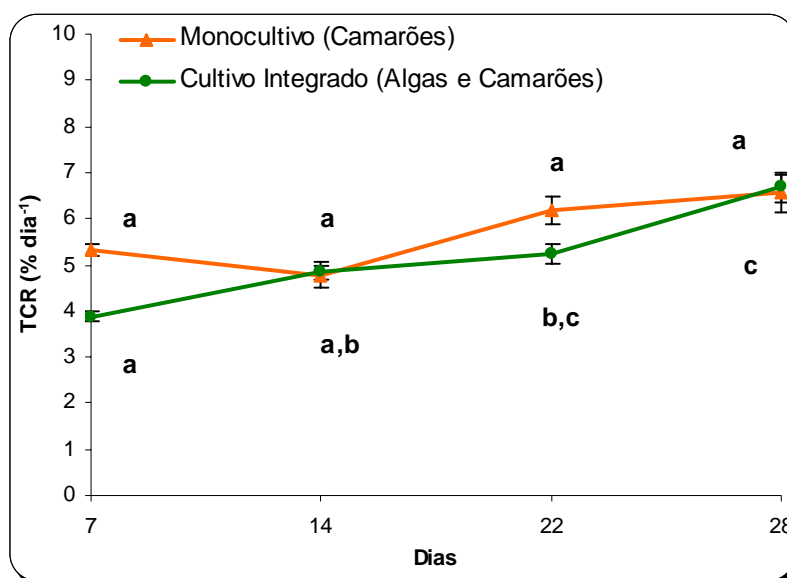


Figura 13 Valores médios e desvio padrão da Taxa de Crescimento Relativo (TCR) de *Litopenaeus vannamei* submetido ao monocultivo e ao cultivo integrado com *Gracilaria caudata*. Letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre os valores médios semanais para cada tratamento.

5 DISCUSSÃO

O uso de ração artificial como subsídio de energia em sistemas de cultivo de organismos aquáticos pode resultar na deterioração da qualidade da água. Este fato ficou evidente no presente estudo através do aumento dos nutrientes fosfatados e nitrogenados inorgânicos. O baixo aproveitamento dos nutrientes contidos na ração pelos animais cultivados - cerca de 25% do nitrogênio e 13% do fósforo (Hargreaves, 1998; Shimoda *et al.*, 2005) - é um fator de relevância para o aumento desses elementos na água.

Parte do nitrogênio e do fósforo consumidos através da ração é excretada nas fezes animais (Montoya *et al.*, 1999; Montoya *et al.*, 2000). No caso dos camarões, considerados amoniotélicos, cerca de 60 a 70% do nitrogênio é liberado sob a forma de amônia (Shishehchian *et al.*, 1999). Esta percentagem pode sofrer alterações, dependendo das condições ambientais. Em um estudo realizado com *Litopenaeus japonicus*, a exposição de peneídeos a altas concentrações ambientais de nitrito resultou no aumento da excreção de amônia, uréia e nitrogênio orgânico (Cheng & Chen, 2001), o que pode ocorrer também com *Litopenaeus vannamei*.

A contribuição da ração para o aumento dos nutrientes nitrogenados inorgânicos no meio aquático se dá de forma direta e também de modo indireto, através da decomposição da porção nitrogenada da matéria orgânica. As reações envolvidas na decomposição desta porção resultam em amônia, através da reação de amonificação, que pode ser convertida a íon amônio, devido à sua natureza instável em meios aquáticos de pH neutro. Em meios aeróbios, como no presente estudo, este composto sofre oxidação por ação bacteriana (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*), que o converte a nitrito e, posteriormente, a nitrato, processo denominado nitrificação. A diminuição da concentração do íon amônio no aquário controle no 14º e no 28º dias, coincidindo com o aumento das concentrações de nitrato nestes dias, sugerem a ocorrência destes processos metabólicos, que possivelmente ocorreram também no monocultivo e no cultivo integrado.

Muitos trabalhos sugerem que os altos níveis de nutrientes se devem aos “inputs”, à excreção e à matéria orgânica e detritos (Primavera, 1993; Briggs & Funge-Smith, 1994; Martin *et al.*, 1998; Burford & Willians, 2001). No entanto, há que se considerar também a entrada de nutrientes através das trocas semanais de água, por menor que seja a contribuição desta em relação à dos nutrientes gerados pela

ração. Em nosso estudo, o aquário controle (onde não ocorreu arraçoamento, apenas as trocas de água, a taxas idênticas às efetuadas nos tratamentos) serviu para acompanhar a evolução dos nutrientes, bem como as reações biológicas ao longo do período. Assim, foi possível observar alguns processos que ocorreram naturalmente na água utilizada no cultivo, mesmo sem haver a interferência da ração. A diminuição de íon amônio no último dia do experimento, por exemplo, ocorreu concomitantemente ao aumento das concentrações de nitrito e de nitrato, sugerindo a ocorrência de nitrificação. Assim, deve-se levar em consideração que parte dos nutrientes presentes nos tratamentos se encontravam naturalmente na água. Islam *et al* (2004) evidenciam que uma porção considerável dos nutrientes pode ser obtida ou perdida pelo meio de cultivo através de trocas de água.

Os resultados obtidos para o ortofosfato e para o íon amônio apontam que, apesar dos níveis destes nutrientes terem aumentado nos dois tratamentos, o aumento foi menor no cultivo integrado, o que sugere o consumo de ortofosfato e de íon amônio pela macroalga *G. caudata*. É óbvio que não se pode desprezar a absorção do fitoplâncton, porém a diferença fica evidente quando se considera que a água utilizada em ambos os cultivos teve a mesma origem, o mesmo número de camarões cultivados e passou pelos mesmos processos de arraçoamento e trocas de volume, e assim pode-se considerar que a biofiltração pelas células planctônicas foi similar em ambos os tratamentos.

Apesar de não ter sido observada diferença estatisticamente significativa do nitrato para os dois tratamentos, os dados obtidos sugerem que a macroalga absorveu este nutriente durante os sete primeiros dias, quando a concentração do nutriente no cultivo integrado ($11,02 \pm 1,40 \mu\text{mol L}^{-1}$) foi 28,8% menor do que a concentração no monocultivo ($27,39 \pm 0,71 \mu\text{mol L}^{-1}$). Neste período, *G. caudata* absorveu nitrato e amônio, e é provável que a absorção desta última forma nitrogenada seja mais intensa que a do nitrato. Isto ocorre pelo fato de o íon amônio ser uma forma reduzida e poder ser diretamente incorporada em aminoácidos, enquanto o nitrato tem que ser reduzido a amônio no meio intracelular, havendo assim gasto energético (Lobban & Harrison, 1997). Após o 7º dia de estudo, observou-se o aumento das concentrações de nitrato na água do cultivo integrado. A absorção deste nutriente pode ter sido inibida pelos altos níveis de amônia, como ocorre com muitas espécies de macroalgas (DeBoer, 1981). Uma outra possibilidade é a de que a inibição tenha decorrido das altas concentrações de fosfato, a exemplo

do que ocorre com as microalgas *Phaeodactylum tricornutum* e *Thalassiosira weissflogii* (Terry, 1982). Em estudo com enfoque na eficiência de absorção em água eutrofizada, Panucci (2004) não observou inibição da absorção de nitrato por *G. caudata*. Possivelmente isto ocorreu devido ao curto tempo de experimento (4h) e às concentrações dos nutrientes ($10\mu\text{mol L}^{-1} \text{PO}_4^{3-}$, $50,8\mu\text{mol L}^{-1} \text{NH}_4^+$ e $9,5\mu\text{mol L}^{-1} \text{NO}_3^-$), que eram relativamente inferiores às concentrações dos nutrientes do presente estudo. Relatos na literatura indicam que algumas espécies de macroalgas como *Macrocystis pyrifera*, *Pleurophyucus gardneri* e *Gracilaria secundata* de um ambiente eutrófico apresentam capacidade reduzida para armazenagem de nitrato (Lüning, 1990), o que pode ocorrer com *G. caudata*, apesar de análises teciduais estarem fora do escopo deste estudo. O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) foi outro parâmetro que não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. No entanto, as mais baixas concentrações de NID foram observadas no cultivo integrado, embora tenha ocorrido um aumento da concentração no último dia de experimento, provavelmente em decorrência do aumento dos níveis de nitrato neste tratamento.

Na macroalga o nitrogênio pode ser armazenado na forma de pigmentos fotossintéticos, como clorofila e ficobilinas (Dawes, 1995; Vergara *et al.*, 1995), que podem atuar como compostos armazenadores de nitrogênio (Harrison & Hurd, 2001). Apesar dos poucos relatos na literatura, Chopin *et al.* (1997) revelam que o ortofosfato pode ser armazenado como grânulos de polifosfato em *Chondrus crispus*. Além disso, o acúmulo de nutrientes nos tecidos de macroalgas cultivadas em ambientes eutróficos promove o aumento de biomassa (Troell *et al.*, 1997; Nelson *et al.*, 2001; Marinho-Soriano *et al.*, 2002).

O aumento de biomassa e a TCR de *G. caudata*, cujos valores máximos ao final do experimento foram $15,0 \pm 1,9\text{g}$ e $7,4 \pm 2,8\% \text{dia}^{-1}$, sugerem que esta espécie é tolerante às condições eutróficas da água e que se beneficiou com o aumento dos nutrientes. A TCR obtida para *G. caudata* ao 28º dia no presente estudo foi similar à TCR máxima obtida para *Gracilaria sp.* aos 15 dias de cultivo em efluentes de viveiros de camarões (Marinho-Soriano *et al.*, 2002) e à TCR obtida para *Gracilaria chilensis* cultivada a 10 metros de gaiolas de cultivo de salmão (Troell *et al.*, 1997). Estudos apontam que algumas espécies do gênero *Gracilaria* cultivadas em ambientes eutrofizados atingem seu crescimento máximo na primeira quinzena de cultivo, posteriormente ocorrendo queda nestes valores (Nelson *et al.*, 2001;

Marinho-Soriano *et al.*, 2002). No presente estudo foi observado que, mesmo após os primeiros 15 dias, a biomassa de *G. caudata* continuou a aumentar, atingindo seu máximo no último dia de experimento.

As correlações positivas obtidas entre os nutrientes e a biomassa e a TCR de *G. caudata* sugerem que o aumento dos nutrientes fosfatados e nitrogenados inorgânicos contribuíram positivamente para o aumento de biomassa e o crescimento da espécie em condições laboratoriais. Estudos anteriores também registram correlações entre nutrientes e biomassa de *Gracilaria parvispora* (Glenn *et al.*, 1999). Além das condições tróficas do meio, a estabilidade relativa das condições em laboratório, onde a alga não precisa despende energia para os processos metabólicos relacionados à resistência à dessecação, ocorrentes durante a maré baixa em meio natural, pode ter contribuído para a elevada TCR ao final do estudo.

Os valores crescentes de biomassa e TCR dos camarões obtidos neste estudo são adequados e comparáveis aos valores obtidos para a espécie em experimentos anteriores, cujas condições ambientais foram semelhantes (Marinho-Soriano *et al.*, 2007). Isto certamente decorreu do uso de ração com nível de proteína indicado para juvenis de *L. vannamei* (38 - 40%, segundo Tacon *et al.*, 1995). As altas taxas de sobrevivência (100%) obtidas para os camarões, assim como os valores quase similares obtidos para as médias da biomassa e da TCR nos dois tratamentos, indicam que o cultivo integrado com a macroalga não prejudicou a performance do camarão. A diminuição nas concentrações de ortofosfato e de íon amônio, por menor que tenham sido as percentagens, assim como o aumento nos níveis de oxigênio dissolvido no cultivo integrado, são fatores que podem favorecer a performance dos animais, já que as macroalgas são biofiltros reconhecidos por equilibrar aspectos metabólicos dos ambientes de cultivos aquáticos, como o aporte de nutrientes, o oxigênio dissolvido, a acidez do meio e os níveis de gás carbônico (Chopin *et al.*, 2001).

Pelo fato do presente estudo ter sido realizado em pequena escala e em condições laboratoriais, há que se considerar a existência de diferenças em certos parâmetros quando o cultivo é realizado em escala maior. É o caso dos viveiros de fazendas de cultivo, onde ocorrem diversas reações metabólicas, algumas delas envolvendo o sedimento. Neste compartimento ocorrem processos relacionados à ciclagem dos nutrientes que não foram abordados em nosso estudo. Apesar dessas limitações, os resultados aqui obtidos mostram que a presença de *G. caudata* no

mesmo ambiente de cultivo de *L. vannamei* gera melhorias na qualidade da água, podendo resultar em benefícios à saúde e ao desempenho zootécnico dos animais cultivados. Além disso, sugerem-se novas investigações, buscando averiguar, por exemplo, o aumento da densidade de macroalgas no meio, que possivelmente resultaria em diminuições mais acentuadas nas concentrações dos nutrientes, bem como em aumentos mais intensos nos níveis de oxigênio dissolvido.

REFERÊNCIAS

- BAUTISTA-TERUEL, M.N.; EUSEBIO, P. S.; WELSH, T.P. Utilization of feed pea, *Pisum sativum*, meal as a protein source in practical diets for juvenile tiger shrimp, *Penaeus monodon*. **Aquaculture**, 225, p. 121-131, 2003.
- Brazilian Shrimp Farmers Association (ABCC). **Revista da Associação Brasileira dos Criadores de Camarão**. 2 (5), p. 96, 2003.
- BRIGGS, M.R.P.; FUNGE-SMITH, S.J. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand. **Aquaculture and Fisheries Management**, 25, p. 789-811, 1994.
- BURFORD, M. A.; WILLIAMS, K. C. The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. **Aquaculture**, 198, p. 79-93, 2001.
- CHENG, S.Y.; CHEN, J.C. The time-course change of nitrogenous excretion in the Kuruma shrimp *Penaeus japonicus* following nitrite exposure. **Aquaculture Toxicology**, 51, p. 443-454, 2001.
- CHOPIN, T.; BUSCHMANN, A.H.; HALLING, C.; TROELL, M.; KAUTSKY, N.; NEORI, A.; KRAEMER, G.; ZERTUCHE-GONZALEZ, J.; YARISH, C. & NEEFUS, C. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. **Journal of Phycology**, 37, p. 975-986, 2001.
- CHOPIN, T.; LEHMAL, H.; HALCROW, K. Polyphosphates in the red macroalga *Chondrus crispus* (Rhodophyceae). **New Phytologist**, 135, p. 587-594, 1997.
- DAWES, C. J. The effect of nutrient and photon fluence on the photosynthetic responses of red and green pigmented cultivars of *Euchema denticulatum*. **Botanica Marina**, 38, p. 323-327, 1995.
- DAWES, C. J. **Marine Botany**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 480p.
- DEBOER, J.A. Nutrients. In C.S.LOBBAN & M.J. WYNNE (eds.), **The Biology of seaweeds**, p. 356-391, 1981.
- ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998. 602 p.
- Food and Agriculture Organization of United Nations. A guide to the seaweed industry, 2003. Edição eletrônica: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/006/Y4765E/y4765e05.htm. Acessado em 25 set. 2005.
- Food and Agriculture Organization of United Nations. National Aquaculture Overview –Brazil, 2007 Edição eletrônica: http://www.fao.org/fi/website/FI_RetrieveAction.do?dom=countrysector&xml=naso_brazil.xml. Acessado em 21/08/07

GLENN, E. P.; MOORE, D.; AKUTAGAWA, M.; HIMLER, A.; WALSH, T.; NELSON, S. G. Correlation between *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) biomass production and water quality factors on a tropical reef in Hawaii. **Aquaculture**, 178, p. 323-331, 1999.

HARGREAVES, J. A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds – review. **Aquaculture**, 166, p. 181-212, 1998.

HARRISON, P. J.; HURD, C.L. Nutrient physiology of seaweeds: application of concepts to aquaculture. **Cahiers de Biologie Marine**, 42, p. 71-82, 2001.

HERNÁNDEZ, I.; MARTÍNEZ-ARAGÓN, J. F.; TOVAR, A.; PÉREZ-LLORENS, J.L.; VERGARA, J.J. Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters 2. Ammonium. **Journal of Applied Phycology**, 14, p. 375-384, 2002

ISLAM, M. S.; SARKER, M. J.; YAMAMOTO, T.; WAHAB, M. A.; TANAKA, M. Water and sediment quality, partial mass budget and effluent N loading in coastal brackishwater shrimp farms in Bangladesh. **Marine Pollution Bulletin**, 48, p. 471-485, 2004.

JIANG, D.-H.; LAWRENCE, A. L.; NEILL, W. H.; GONG, H. Effects of temperature and salinity on nitrogenous excretion by *Litopenaeus vannamei* juveniles. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 253, p. 193-209, 2000.

KUMARAGURU VASAGAM, K. P.; RAMESH, S.; BALASUBRAMANIAN, T. Dietary value of different vegetable oil in black tiger shrimp *Penaeus monodon* in the presence and absence of soy lecithin supplementation: Effect on growth, nutrient digestibility and body composition. **Aquaculture**, 250, p. 317-327, 2005.

LANGDON, C.; EVANS, F.; DEMETROPOULOS, C. An environmentally-sustainable, integrated, co-culture system for dulse and abalone production. **Aquacultural Engineering**, 32, p. 43-56, 2004.

LOBBAN, C.S.; HARRISON, P.J. **Seaweed ecology and physiology**. Cambridge University Press. Cambridge, 1997, 366p.

LÜNING, K. **Seaweeds: their environment, biogeography and ecophysiology**. Wiley Interscience Publication - John Wiley & Sons Inc. New York, 1990. 527p.

MARINHO-SORIANO, E.; MORALE, C.; MOREIRA, W. S. C. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp pond effluents in Brazil. **Aquaculture Research**, 33, p. 1081-1086, 2002.

MARINHO-SORIANO, E. Filtros vivos para limpar a água. **Ciência Hoje**, 37, n. 216, p. 67-69, 2005.

MARINHO-SORIANO, E.;CAMARA, M.R.; CABRAL, T. M.; CARNEIRO, M. A. A Preliminary evaluation of the seaweed *Gracilaria cervicornis* (Rhodophyta) as a partial substitute for the industrial feeds used in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming. **Aquaculture Research**, 38, p 182-187, 2007.

MARTIN, J. L .M.; VERAN, Y.; GUELORGET, O.; PHAM, D. Shrimp rearing: stocking density, growth, impact on sediment, waste output and their relationships studied through the nitrogen budget in rearing ponds. **Aquaculture**, 164, p.135-149, 1998

MARTÍNEZ-ARAGÓN, J. F.; HERNÁNDEZ, I.; PÉREZ-LLORÉNS, J.L.; VÁZQUEZ, R.; VERGARA, J.J. Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters 1. Phosphate. **Journal of Applied Phycology**,14, p. 365-374, 2002

MONTOYA, R. A.; LAWRENCE, A. L.; GRANT, W. E.; VELSCO, M. Simulation of nitrogen dynamics and shrimp growth in an intensive shrimp culture system: effects of feed formulations and feeding strategies. **Ecological Modelling**, 129, p. 81-95, 1999.

MONTOYA, R. A.; LAWRENCE, A. L.; GRANT, W. E.; VELSCO, M. Simulation of phosphorus dynamics in an intensive shrimp culture system: effects of feed formulations and feeding strategies. **Ecological Modelling**, 129, p. 131-142, 2000.

NELSON, S. G.; GLENN, E. P.; CONN, J.; MOORE, D.; WALSH, T.; AKUTAGAWA, M. Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditches and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system. **Aquaculture**,193, p. 239-248, 2001.

NEORI, A.; KROM, M. D.; ELLNER, S. P.; BOYD, C. E.; POPPER, D.; RABINOVITCH, R.; DAVISON, P. J.; DVIR, O.; ZUBER, D.; UCKO, M.; ANGEL, D.; GORDIN, H. Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish-seaweed culture units. **Aquaculture**, 141, p. 183-199, 1996.

NEORI, A., RAGG, N. L. C., SHPIGEL, M. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: II. Performance and nitrogen partitioning within an abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system. **Aquacultural Engineering**, 17, p. 215-239, 1998.

NEORI A., SHPIGEL, M., BEN-EZRA, D. A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone. **Aquaculture**, 186, p. 279-291, 2000.

OSTRENSKY, A.; BARBIERI JR, R. C. . **Camarões Marinhos II - Engorda**. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2002. v. II. 267 p.

PÁEZ-OSUNA, F. The environmental impact of shrimp aquaculture: a global perspective. **Environmental Pollution**, 112, p. 229-231, 2001.

PANUCCI, R. A. **Uso da macroalga *Gracilaria caudata* J. Agardh como biofiltro no tratamento de efluentes da carcinicultura.** Dissertação (Mestrado em Bioecologia Aquática) – Programa de Pós-Graduação em Bioecologia Aquática, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

PECKOL, P.; RIVERS, J.S. Physiological responses of the opportunistic macroalgae *Cladophora vagabunda* (L.) van den Hoek and *Gracilaria tikvahiae* (McLachlan) to environmental disturbances associated with eutrophication. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 190, p. 1-16, 1995.

PEREIRA, S. M. B.. Algas marinhas bentônicas. In: **Pesquisa Botânica Nordestina: Progresso e Perspectivas.** Recife: Sociedade Botânica do Brasil, p. 79-95, 1996.

PLASTINO, E.M.; OLIVEIRA, E.C. *Gracilaria caudata* J. Agardh (Gracilariales, Rhodophyta)-restoring an old name for a common western Atlantic alga. **Phycologia**, 36 (3), p. 225-232, 1997

PRIMAVERA, J.H. A critical review of shrimp pond culture in the Philippines. **Reviews in Fisheries Science**, 1, p. 151-201, 1993.

QIAN, P. Y.; WU, C. Y.; MADELINE WU; XIE, Y. K. Integrated cultivation of the red alga *Kappapycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctada martensi*. **Aquaculture**, 147, p. 21-35, 1996.

SHIMODA, T.; FUJIOKA, Y.; SRITHONG, C.; ARYUTHAKA, C. Phosphorus budget in shrimp aquaculture pond with mangrove enclosure and aquaculture performance. **Fisheries Science**, 71, p.1249-1255, 2005.

SHISHEHCHIAN, F.; YUSSOFF, F. M.; OMAR, H.; KAMARUDIN. Nitrogenous excretion of *Penaeus monodon* postlarvae fed with different diets. **Marine Pollution Bulletin**, v. 39, p. 224-227, 1999

SPAASGAREN, D.H. Physiological constraints in shrimp cultures. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.118A, n°4, p. 1371-1376, 1997.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS. T. R. **A practical handbook of seawater analysis.** Ottawa, Fisheries Research Board of Canada, 1972. 310p

TACON, A.G.; PHILLIPS, M.J.; BARG, U.C. Aquaculture feeds and the environment: the Asian experience. **Water Science and Technology**, 31, p. 41-59, 1995.

TERRY, K. L. Nitrate uptake and assimilation in *Thalassiosira weissflogii* e *Phaeodactylum tricornutum*: interactions with photosynthesis and with the uptake of other ions. **Marine Biology**, 69, p. 21-30, 1982.

TROELL, M.; HALLING, C.; NILSSON, A.; BUSCHMANN, A. H.; KAUTSKY, N.; KAUTSKY, L. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. **Aquaculture**, 156, p 45-61, 1997.

VELASCO, M.; LAWRENCE, A.L.; CASTILLE, F.L. Effect of variations in daily feeding frequency and ration size on growth of shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), in zero-water exchange culture tanks. **Aquaculture**, 179, p. 141-148, 1999.

VERGARA, J.J.; BIRD, K.T.; NIEL, F. X. Nitrogen assimilation following NH_4^+ pulses in the red alga *Gracilariopsis lemaneiformis*: effect on C metabolism. **Marine Ecology Progress Series**, 122, p. 253-263, 1995.

ANEXOS

Anexo I Características nutricionais da ração (Cameronina 40 CR 2 - Purina do Brasil)

| | |
|-----------------------|-------|
| Umidade (máx.) | 13% |
| Proteína bruta (mín.) | 40% |
| Extrato Etéreo (mín.) | 8% |
| Fibra (máx.) | 6% |
| Cinzas (máx.) | 13% |
| Cálcio (máx.) | 3% |
| Fósforo (mín.) | 0,70% |

MINERAIS

Enriquecido por Kg de produto

| | |
|---------------|------|
| Magnésio (g) | 0,4 |
| Manganês (mg) | 10 |
| Cobre (mg) | 50 |
| Zinco (mg) | 100 |
| Iodo (mg) | 0,3 |
| Selênio (mg) | 0,15 |

VITAMINAS

| | |
|----------------------------|------|
| Vitamina A (UI) | 3800 |
| Vitamina D3 (UI) | 1900 |
| Vitamina E (UI) | 140 |
| Vitamina K (mg) | 20 |
| Ácido Fólico (mg) | 7 |
| Colina (mg) | 1400 |
| Biotina (mg) | 0,2 |
| Niacina (mg) | 130 |
| Pantotenato de Cálcio (mg) | 40 |
| Tiamina (mg) | 15 |
| Riboflavina (mg) | 20 |
| Piridoxina (mg) | 20 |
| Vitamina B12 (mcg) | 20 |
| *Vitamina C (mg) | 150 |

*Fonte de vitamina C estável ao processo de extrusão

Fonte: Purina®

Anexo II Valores médios semanais de temperatura, pH e oxigênio dissolvido da água no monocultivo. As letras diferentes indicam as diferenças significativas semanais (ANOVA (F) ou Kruskal-Wallis (H), $P < 0,05$)

| | Temperatura (°C) | pH | Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹) |
|---------------|---------------------|--------------------|---|
| Dia inicial | 28,30 ^{ab} | 7,66 ^a | 5,13 ^a |
| 7° dia | 28,02 ^{ab} | 7,67 ^a | 5,61 ^{ab} |
| 14° dia | 27,74 ^a | 7,46 ^a | 6,01 ^b |
| 22° dia | 28,20 ^{ab} | 7,29 ^b | 5,99 ^{ab} |
| 28° dia | 28,37 ^b | 7,41 ^{ab} | 5,33 ^a |
| F ou H | H = 24,072 | H = 50,569 | F=4,903 |
| Probabilidade | <0,001** | <0,001** | 0,002* |

(*) diferença significativa e (**) diferença altamente significativa

Anexo III Valores médios semanais de temperatura, pH e oxigênio dissolvido da água no cultivo integrado. As letras diferentes indicam as diferenças significativas semanais (ANOVA (F) ou Kruskal-Wallis (H), $P < 0,05$)

| | Temperatura (°C) | pH | Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹) |
|---------------|---------------------|--------------------|---|
| Dia inicial | 28,13 ^{ab} | 7,67 ^a | 5,03 ^a |
| 7° dia | 28,02 ^{ab} | 7,68 ^a | 5,68 ^a |
| 14° dia | 27,73 ^a | 7,53 ^{ac} | 6,19 ^{ab} |
| 22° dia | 28,21 ^b | 7,36 ^b | 6,50 ^b |
| 28° dia | 28,39 ^b | 7,42 ^{bc} | 5,92 ^{ab} |
| F ou H | H = 29,001 | H = 59,583 | H = 22,138 |
| Probabilidade | <0,001** | <0,001** | <0,001** |

(*) diferença significativa e (**) diferença altamente significativa