

## Fundação Universidade Federal do Rio Grande

Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental

Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient.

ISSN 1517-1256

Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental

*Volume 17, julho a dezembro de 2006*

### **UTILIZAÇÃO DA MODELAGEM QUALITATIVA E SEMIQUANTITATIVA NA ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA DO CULTIVO DO CAMARÃO *Farfantepenaeus paulensis* NO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS, RS, BRASIL**

Ângela Machado Milach<sup>1</sup>  
Luis Henrique Poersch<sup>2</sup>

#### **RESUMO**

O cultivo de camarões marinhos, apesar do seu franco desenvolvimento, vem sendo criticado por seus impactos ambientais ao meio ambiente aquático como a liberação excessiva de nutrientes e a eutrofização de ecossistemas aquáticos. Devido ao descumprimento da legislação e de práticas de fiscalização ineficazes, o desenvolvimento desta atividade é controlado basicamente por fatores econômicos. Por isso, é importante que as demandas econômicas e ambientais coincidam no sentido de reverter à tendência de degradação do meio-ambiente aquático. Para um correto gerenciamento dos sistemas de cultivo é imprescindível compreender o fluxo do nitrogênio nos cultivos e suas implicações ao meio ambiente aquático. Assim, o objetivo deste trabalho é identificar os possíveis impactos ambientais do cultivo do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* em sistemas abertos do tipo cercados sobre a qualidade de água na enseada rasa do Saco da Mangueira no Estuário da Lagoa dos Patos. Através da utilização da modelagem qualitativa e semiquantitativa, este trabalho objetiva também demonstrar como práticas de gerenciamento afetam a sustentabilidade ecológica do sistema. Os resultados deste estudo possibilitarão uma compreensão mais ampla sobre como os sistemas de cultivo semi-intensivo e o

---

<sup>1</sup> Mestranda da Pós-Graduação de Aqüicultura da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG). [angelamilach@gmail.com](mailto:angelamilach@gmail.com).

<sup>2</sup> Doutor em Oceanografia Biológica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande. [lpoersch@mikrus.com.br](mailto:lpoersch@mikrus.com.br).

corpo d'água adjacente interagem, baseando-se no fluxo de nitrogênio e nas condições de hidrodinâmica das águas.

**Palavras-chave:** Aquacultura; Camarão-rosa; Modelagem; Sustentabilidade ecológica.

## **ABSTRACT**

Despite the increased worldwide marine shrimp aquaculture development, the activity has been criticized for its negative environmental impacts such as excessive nutrients release and eutrophication of aquatic ecosystems. The development of this activity is controlled basically by economical factors due to lack of the law enforcing and the ineffectiveness of the inspections practices. That is why, it's important that the environment and economic demands coincide with the goal of reversion of the existing tendency to aquatic environmental degradation. For a correct management of the culture systems it is vital to understand the nitrogen flux in its implications on the aquatic environmental. Thus, the purpose of this work is to identify possible environmental of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* culture in open systems of the type over the water quality in the shallow bay of Saco da Mangueira in the Patos Lagoon estuary. Through the qualitative and semi-quantitative modeling this work aims at showing how the management practices affect the ecological sustainability of the system. The results of this study will enable a wider comprehension about how the semi-intensive culture systems and the surrounding water bodies interact being based on the nitrogen flux and the waters hydrodynamic conditions.

**Kew works:** Aquaculture; Pink-shrimp; Modelling; Ecological Sustainability.

## **1.0 INTRODUÇÃO**

### **1.1 AQUACULTURA E SEUS IMPACTOS**

A aquacultura é o processo de produção em cativeiro de organismos que dependem da água para a realização total ou parcial de seu ciclo de vida, em qualquer estágio de desenvolvimento. De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO, 2002), três fatores caracterizam essa atividade: o organismo produzido é aquícola, existe um manejo visando à produção e a criação possui um proprietário.

A aquacultura depende fundamentalmente do ecossistema no qual está inserida. Este deve permanecer equilibrado para possibilitar a manutenção da atividade. Embora seja impossível produzir sem provocar alterações ambientais, pode-se reduzir o impacto sobre o meio ambiente ao mínimo, de modo que não haja redução da biodiversidade, esgotamento ou comprometimento negativo dos recursos naturais, nem alterações significativas na estrutura e funcionamento do ecossistema. Deve-se entender claramente que a preservação ambiental é parte do processo produtivo (ASSAD; BURSZTYN, 2000).

Nas últimas décadas, tem-se observado um expressivo crescimento do cultivo de peixes e crustáceos em países subdesenvolvidos e desenvolvidos (WCED, 1987), no entanto, a maioria dos países não possui legislação específica ou as práticas de fiscalização são ineficazes. Destacando que a produção de camarões cresce exponencialmente e tem sido praticada de forma intensiva, visando maximizar o retorno financeiro. Neste sentido, o desenvolvimento desta atividade é controlado basicamente por fatores econômicos. Assim, os ambientalistas e ecologistas acabam tendo uma visão pessimista da intensificação da carcinicultura, ramo da aquacultura que objetiva a criação de crustáceos.

A prática da aquacultura no litoral do Brasil se caracterizou em um momento inicial por um perfil predatório particularmente no nordeste aonde a atividade aumentou em torno de 20% ao ano na última década (LACERDA *et al.*, 2006). Entre os graves problemas ambientais que os cultivos podem trazer está a destruição de manguezais que tem sérios efeitos ecológicos, o enriquecimento por nutrientes e conseqüentemente a eutrofização de águas costeiras, além da introdução de espécies exóticas.

Em função deste desenvolvimento desenfreado, a literatura ressalta a necessidade de se avaliar através da dinâmica de sistemas a performance dos sistemas de aquacultura de forma mais integrada e compreensiva, dentro de um contexto de sustentabilidade (GOMEZ-GALINDO, 2000). No planejamento da atividade do cultivo é importante considerar um modelo de produção que vise o lado econômico, mas também se preocupe com o ambiental e com o social. É a chamada “Aquacultura Sustentável”.

A história da produção do camarão no Brasil é recente, e seu desenvolvimento comercial ganhou impulso entre os anos de 1995 e 1996, quando foi demonstrada a viabilidade técnica e econômica da atividade produtiva nos ecossistemas costeiros do país. Contudo, a falta de sistemas de manejo adequados acabou trazendo danos a qualidade de água.

No final da década de 80 o camarão exótico *Litopenaeus vannamei* foi destaque entre as espécies cultivadas no Brasil, pela sua capacidade de adaptação às diversas condições ambientais. A partir da década de 90, a produção e comercialização de pós-larvas desta espécie impulsionaram as produções, viabilizando economicamente o cultivo (RODRIGUES, 2001).

O interesse pela atividade do cultivo de camarões em diferentes estruturas de cultivo (viveiros, cercados e gaiolas) vem atingindo o Rio Grande do Sul (RS). Apesar do cultivo de *L. vannamei* ser de importância socioeconômica, há diversas vantagens em se cultivar uma espécie nativa na região. Entre elas, a melhor tolerância às condições ambientais locais, larvas mais resistentes e livres de patógenos, disponibilidade de reprodutores em região costeira próxima, melhor aceitação no mercado local e sem causar danos ao ambiente (SANDIFER *et al.*, 1993).

O camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* é uma espécie se distribui de Ilhéus na Bahia (14°50’S) até Mar del Plata, na Argentina (38°30’S) (D’INCAO; BUCKUP; BOND, 1999). Este camarão é de grande importância comercial nas pescarias artesanais e industriais nas regiões sudeste e sul do Brasil. No Rio Grande do Sul esta espécie caracteriza-se por utilizar ambientes protegidos como o estuário da Lagoa dos Patos (ELP), RS, onde se aproveita da diversidade e abundância dos itens alimentares e de abrigo nos marismas.

Estudos vêm sendo realizados com esta espécie no intuito de fornecer subsídios técnicos para a atividade do cultivo da região. Esta espécie é uma das mais promissoras para o cultivo, porque está perfeitamente adaptada às condições locais, tem uma maior tolerância às baixas temperaturas em relação à maioria dos peneídeos (OLIVERA *et al.*, 1993) e sua tecnologia de cultivo está razoavelmente bem desenvolvida (MARCHIORI, 1996). A diminuição dos estoques naturais do camarão-rosa *F. paulensis* no ambiente é devido principalmente a sobrepesca, que serve de incentivo ao desenvolvimento de novas tecnologias para contornar este problema.

Desde 1994, desenvolveram-se métodos alternativos de cultivo no ambiente, como os cercados que são confeccionados a um baixo custo, apropriados às condições ambientais e de acordo com a realidade econômica dos pescadores artesanais (WASIELESKY, 2000), dando início assim a prática da aquacultura no ELP.

O cultivo experimental do camarão-rosa em sistemas de cultivo do tipo cercados tem demonstrado ser uma atividade rentável à comunidade de pescadores do ELP, contribuindo como uma fonte alternativa de renda. São grandes as potencialidades de pescadores utilizarem o cultivo do camarão como uma estratégia de diversificação econômica viável na região do ELP. Este

reúne uma série de vantagens para a implementação de cultivos alternativos entre elas: ventos constantes, águas ricas em nutrientes, circulação de água e a grande disponibilidade de alimentos (WASIELESKY, 2000).

A região estuarina da Lagoa dos Patos, localizada na extremidade sul, constitui cerca de 10% de sua área total. A retenção de nutrientes nos estuários é o principal fator que contribui com a elevada produtividade dos mesmos (NIENCHESKI; WINDOM; SMITH, 1994), devido a isto, a Lagoa dos Patos proporciona habitats favoráveis ao estabelecimento de larvas e ao desenvolvimento das fazes juvenis do camarão-rosa *F. paulensis*. Uma das principais enseadas deste estuário que serve de berçário para estes indivíduos é o Saco da Mangueira, uma enseada rasa semifechada, localizada a sudoeste do ELP, ao sul da cidade do Rio Grande. É uma área estimada em 23 km<sup>2</sup> (MIRANDA, 1997) e volume aproximado de 18.690.000m<sup>3</sup> (POERSCH *et al.*, 2003). Pereira (1997) destaca que nesta enseada as velocidades de corrente são muito baixas, com redução gradual a partir da comunicação com o canal. No entanto, próximos às margens desta enseada observa-se a formação de pequenos vórtices que tem a capacidade de autodepurarem e recuperarem parte do corpo d'água em questão. O Saco da Mangueira é considerado um dos locais mais impactados pela ação poluidora oriunda de fontes antrópicas (NIENCHESKI; BAUMGARTEN, 2000), contudo, a enseada está inserida em um projeto denominado "Costa Sul", que objetiva revitalizar esta área a longo-prazo (TAGLIANI, *et al.*, 2003). O propósito do projeto Costa Sul é contribuir à restauração da qualidade ambiental e produtividade da pesca no estuário da Lagoa dos Patos (Rio Grande Sul) como uma base para recuperação econômica das comunidades litorâneas ([www.costasul.furg.br](http://www.costasul.furg.br)). Entre os estudos planejados pelo projeto está o desenvolvimento de um modelo matemático da qualidade de água para o estuário, assim o presente artigo também contribuiria como um primeiro passo para entender a dinâmica do sistema, no presente artigo representado pela interação sistema de cultivo e meio ambiente aquático com base no fluxo do nitrogênio.

Quando se fala em diminuição da qualidade de água esta é em função do impacto ambiental decorrente de uma atividade de produção. A carcinicultura, por exemplo, pode causar impacto ambiental, motivo pelo qual é caracterizada como "atividade potencialmente poluidora", no cadastro nacional de atividades poluidoras do IBAMA (BAUMGARTEN; POZZA, 2001). Diversos aspectos contribuem para a contaminação das regiões estuarinas e, atualmente, estudos a respeito dos impactos causados por cultivos de diversos organismos têm sido desenvolvidos (PAQUOTTE *et al.*, 1998).

Na época em que o Brasil vivia a "síndrome do milagre econômico" o pensamento era "a poluição é o preço que se paga pelo progresso" (REIGOTA, 1994). Atualmente o pensamento não é o mesmo, pois se acredita que a poluição gerada pelo progresso pode ir contra o próprio progresso. A falta da utilização de processos de educação ambiental acabava promovendo tal pensamento que foi se modificando e evoluindo, no sentido de promover um desenvolvimento sustentável de atividades que utilizam bens comuns, como a água na aquicultura. Contudo, atualmente ainda há a falta de processos que envolvam a educação ambiental em muitos setores como a sociedade civil e o poder público o que acaba promovendo um crescimento desordenado desta atividade.

Para que se obtenha sucesso na prática da aquicultura a qualidade de água deve ser mantida. Esta é definida como a combinação de características químicas, físicas e biológicas da água que têm influência direta ou não no crescimento e sobrevivência dos organismos cultivados.

O impacto da aquicultura ao meio ambiente aquático é, principalmente devido à liberação excessiva e/ou indiscriminada de nutrientes presentes nas águas provenientes dos sistemas de cultivo, no caso os cercados. Nestes sistemas utilizados para a produção de camarões

no ELP não há tratamento para a água que sai dos cultivos, no entanto, já existem tratamentos para saídas de águas dos cultivos em sistemas abertos para o cultivo de salmão em gaiolas no Chile (TROELL *et al.*, 1999) e localmente existem estudos para viabilizar o tratamento de efluentes dos cercados no Estuário da Lagoa dos Patos (COPERTINO *et al.*, 2006). Nos cultivos o aporte extra de nutrientes é decorrente de restos de alimentação fornecida e da excreção dos organismos. A entrada de nutrientes por vias naturais é considerada um enriquecimento lento do sistema e pode gerar um processo de eutrofização. Segundo Curtis (1985), este ocorre quando há a introdução de nutrientes em excesso no habitat aquícola, causando um crescimento acelerado de algas, bactérias e microorganismos. Quando a eutrofização é induzida por ações antrópicas, como é o caso dos sistemas de cultivo, fala-se em eutrofização de artificial. Esta é responsável pelo envelhecimento precoce do ecossistema e tem como principal efeito a alteração da qualidade de água e conseqüências para toda biota (KENNISH, 1992). Quando isto ocorre, há alteração das condições fisiológicas das espécies cultivadas, podendo prejudicar a capacidade imunológica dos organismos em relação a doenças, podendo afetar a taxa de crescimento e a porcentagem de sobrevivência (STEWART, 1997). Neste sentido, os produtos decorrentes da atividade do cultivo poderão prejudicar o próprio cultivo caso não se busque ações de sustentabilidade para mantê-los.

Os ecossistemas aquáticos naturais possuem certa capacidade de assimilação intrínseca, contudo, o lançamento de matéria orgânica e/ou inorgânica pode resultar em severos episódios de poluição quando os lançamentos antropogênicos superam as fontes naturais, ultrapassando a capacidade de absorção, reciclagem, inativação e depuração do corpo hídrico (MCKINDSEY *et al.*, 2006).

Os impactos indesejáveis no ambiente ocorrem, dependendo das quantidades liberadas, do excesso tempo-escala que as liberações ocorrem e da capacidade de assimilação do local do cultivo (ACKEFORS; ENELL, 1994). O uso e reuso de um corpo d'água prevê um meio eficiente para a disseminação de agentes de poluição no meio ambiente circundante ao sistema de cultivo. É importante ressaltar que o tipo e a escala de uma mudança ecológica dependem do tipo de aquacultura que se pratica, do nível de produção e das características físicas, químicas e biológicas da área (FAO, 1999).

Neste sentido, para que a carcinicultura tenha êxito, é necessário manter a qualidade de água dos sistemas de cultivo, uma vez que os colapsos da produção de camarão são geralmente associados à deteriorização da qualidade de água (BARG; PHILLIPS, 1997). A manutenção desta é realizada através das renovações de água do sistema de cultivo (GOMEZ-GALINDO, 2000), no entanto, mesmo que as taxas de renovação de água tenham um efeito positivo no sentido de manter a qualidade de água, pode acarretar também efeitos negativos como a degradação das águas, pelo excesso de nutrientes provenientes dos sistemas de cultivos, que transporta os produtos nitrogenados ao meio ambiente aquático adjacente (CLARK, 1996).

## 1.2 COMPOSTOS NITROGENADOS, FLUXOS DO NITROGÊNIO E ALIMENTAÇÃO

O desenvolvimento e o domínio das técnicas da aquacultura tende a ampliar a intensificação dos cultivos, e o resultado disto é o incremento na geração de compostos nitrogenados provenientes destes. Em sistemas de cultivo, os resíduos de nitrogênio são degradantes comuns no meio. As principais fontes destes produtos são: a excreção dos organismos cultivados e a degradação do excedente de alimento fornecido. Os alimentos utilizados na aquacultura, normalmente contêm altos níveis protéicos, que por sua vez geram a formação de produtos nitrogenados proporcionais (TOMASSO, 1994).

Para melhor visualização e análise da interação dos compostos nitrogenados no meio ambiente aquático é necessário compreender o fluxo do nitrogênio neste. Dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, este elemento químico altera-se entre várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas químicas: nitrogênio molecular ( $N_2$ ) em equilíbrio entre água e atmosfera, nitrogênio orgânico dissolvido ou em suspensão, nitrito ( $NO_2$ ), nitrato ( $NO_3$ ) e amônia total ( $NH_3 + NH_4^+$ ), esta última forma surge da decomposição de proteínas, clorofilas e vários outros compostos nitrogenados (VON SPERLING, 1996). Os organismos aquáticos excretam compostos nitrogenados no meio, no qual eles crescem. Entre estes está a amônia, que é liberada diretamente na coluna d'água, podendo ser tóxica aos mesmos (SHELL, 1991). Esta substância nitrogenada pode ser encontrada naturalmente nos ambientes aquáticos, fruto do processo de excreção, degradação, ou mesmo por atividades antropogênicas e pode influenciar o metabolismo dos organismos cultivados.

No corpo d'água, a determinação da forma predominante do nitrogênio fornece informações sobre o estágio de poluição. Os processos bioquímicos de degradação da matéria orgânica, oxidação do amônio, convertendo-o para nitrito e posteriormente para nitrato, implicam no consumo de oxigênio dissolvido no meio, o que pode afetar de forma negativa a vida aquática. O nitrato é a forma oxidada mais estável do nitrogênio sendo um importante nutriente para os produtores primários (BAUMGARTEN; POZZA, 2001).

O processo de degradação da matéria orgânica é lento até atingir o produto final, no caso o nitrato, logo o nitrogênio pode ser considerado um fator limitante nos ecossistemas marinhos (BAUMGARTEN; POZZA, 2001). Assim, é de alta relevância que se entenda e que se crie um cenário do aporte, da interação e da ciclagem dos compostos nitrogenados nos sistemas de cultivo.

Há vários motivos para justificar a utilização do nitrogênio: ele é o principal construtor das proteínas e tal produção é seguramente o principal objetivo da aquicultura; tem importantes implicações fisiológicas na saúde e no crescimento; excesso de nitrogênio em forma de amônia ( $NH_3$ ), amônio ( $NH_4^+$ ), ou nitrito ( $NO_2$ ) podem ser tóxicos para os organismos aquáticos (HARGREAVES, 1998); a produção primária e a eutrofização em áreas costeiras são principalmente controladas pelo nitrogênio (RYTHER; DUNSTAN, 1971); o excesso de nitrogênio nos ecossistemas pode ter importantes implicações na contribuição de blooms (crescimento massivo) de fitoplâncton (HODGKISS; HO, 1997); os alimentos formulados para sistemas semi-intensivos na aquicultura possuem a farinha de peixe e soja como as principais fontes de proteína, as quais têm altos valores de nitrogênio; os compostos nitrogenados influenciam significativamente a qualidade de água na aquicultura e o nitrogênio é considerado essencial aos organismos, não podendo ser substituído ou reduzido substancialmente.

Desta forma, considera-se o nitrogênio um importante elemento nutriente e em excesso pode ser considerado tóxico (em suas formas degradadas), sendo relevante nas interações entre a produção dos sistemas de cultivo e o meio-ambiente aquático (HANDY; POXTON, 1993). O nitrogênio, em suas diferentes formas, na criação de camarão representa um importante integrador entre o cultivo e o meio ambiente aquático. Através dos vários fluxos de nitrogênio gerenciados ou não que podem ser a fonte de importantes interações ao meio ambiente e a sustentabilidade dos cultivos (GOMEZ-GALINDO, 2000).

A produção da aquicultura é suportada de forma significativa pelos fluxos de nitrogênio como nutrientes que promovem o crescimento de plantas e dos organismos cultivados (GOMEZ-GALINDO, 2000).

Os fluxos de nitrogênio nos sistemas de aquicultura ligam os cultivos e o meio ambiente adjacente através da alimentação, fertilização, entradas e saídas de água, biofixação e pelos

nutrientes perdidos para a atmosfera e sedimentos (volatilização e mineralização). Há somente alguns estudos que relatem os fluxos e processos decorrentes do ciclo do nitrogênio nos diferentes sistemas de cultivos (GOMEZ-GALINDO, 2000). Estas interações que ocorrem pelo fluxo do nitrogênio no meio parecem ser mais importantes em áreas costeiras, as quais são fortemente limitadas pelo nitrogênio e aonde às maiorias dos sistemas semi-intensivos ocorrem (ex.: criação de camarões).

O excesso de nitrogênio nas águas que passam pelos cultivos pode criar obstáculos aos processos de produção através da deterioração da qualidade de água, o que é considerada como o maior problema nas formas semi-intensivas da aquacultura (TALBOT; HOLE, 1994). A deterioração da qualidade de água pela prática desta atividade pode afetar tanto a integridade do corpo d'água adjacente como o próprio cultivo. Desta forma, qualidade da água pode variar consideravelmente, direta ou indiretamente, pelos resultados das entradas, passagens e saídas do fluxo de nitrogênio.

A alimentação representa a maior entrada de nitrogênio no sistema, cerca de 90% em sistemas semi-intensivos e intensivos de criação de camarões (HARGREAVES, 1998), dependendo da qualidade e quantidade da ração fornecida. Os teores de nitrogênio das águas que passam nos sistemas de cultivo são oriundos, principalmente, da alimentação fornecida tanto pelos produtos e subprodutos do metabolismo dos camarões como a deterioração do alimento não consumido. O nitrogênio na forma de alimento não incorporado como tecido do camarão pode ser considerado perdido, e representa um fator a ser gerenciado (LORENZEN, 1999).

Os resultados obtidos na literatura apresentam uma ampla variação dos valores de retenção de nitrogênio pelos organismos. Funge-Smith; Briggs (1998) relataram a assimilação em torno de 17%, já Velasco; Lawrence; Neill (1998) observaram uma assimilação de 63% de nitrogênio quando foi fornecida uma dieta semipurificada, ou seja, melhor qualitativamente.

Em contraste com o fluxo natural do nitrogênio, o fluxo gerenciado no que diz respeito à alimentação, pode contribuir substancialmente para avaliar o aporte de nitrogênio dos sistemas de cultivo de camarões para águas adjacentes.

Desta forma, o fornecimento da ração (arraçoamento) é uma das características do manejo que mais interfere na qualidade da produção e que pode afetar negativamente o sistema através da deterioração da qualidade de água se for realizada de forma indiscriminada.

### 1.3 APLICAÇÕES DA MODELAGEM

#### 1.3.1 Modelagem

O objetivo principal da ciência é tentar entender e explicar fenômenos que ocorrem no mundo real. A modelagem tem um papel fundamental neste processo através de construções teóricas, que procuram descrever e explicar o funcionamento de um sistema através da representação de um fenômeno ou conjunto de fenômenos do mundo real e, eventualmente, fazer a previsão de novas propriedades. Tradicionalmente, tenta-se compreender a realidade analisando seus elementos, mas, para que se possa compreender o que está sendo estudado como um todo é necessário analisar as interações presentes que geram organizações complexas (CAPRA, 1996).

A modelagem permite universalizar resultados de um experimento qualquer para aplicação a outros sistemas, sendo definida como o processo de construção de modelos que estabelece relações entre entidades importantes de um sistema (NEELLAMKAVIL, 1987). Requer a compreensão de um problema a ser solucionado, a avaliação de prioridades e a habilidade de representar o conhecimento em termos de uma linguagem computacional. Na

modelagem se inserem objetivos como: construir evolutivamente o conhecimento, explicitar e lapidar as representações mentais sobre um conhecimento e posteriormente perceber o mundo a partir de uma visão de dinâmica de sistemas (FURTADO, 2003).

A justificativa principal para a utilização de ambientes de modelagem é que através da expressão e construção de modelos pode-se desenvolver o seu próprio entendimento a cerca do funcionamento dos sistemas dinâmicos (RILEY, 1990).

A modelagem pode servir como um instrumento para cristalizar momentaneamente as relações causais entre as interações ambientais ocasionadas em sistemas de cultivo, passando a existir desta forma, como um mundo artificial. Este mundo, por sua vez, passará a ser um objeto de análise que permitirá a exploração das ligações entre as variáveis que posteriormente serão revertidos em resultados, possibilitando, assim, uma visão do mundo real.

Devemos analisar as trocas de materiais e energia entre as partes, o modo como às trocas são reguladas e as propriedades que aparecem como resultado destas interações (FURTADO, 2003). Para esta função, atuam os modelos que são considerados ferramentas da modelagem representando de forma simplificada e abstrata algum fenômeno, que baseado em uma descrição formal de objetos com suas relações e seus processos permitem suas simulações.

### 1.3.2 Definição de Modelos

Define-se modelo como uma formulação que representa um fenômeno real e pelo qual se podem criar cenários dos sistemas em questão. É uma representação conceitual de um mundo real (ODUM, 1983) e são utilizados pelos cientistas como importantes “ferramentas do pensamento”. Um modelo é um substituto para um objeto ou sistema. Qualquer conjunto de regras e relações que descrevem algo pode ser considerado um modelo (KURTZ DOS SANTOS *et al.*, 2002).

Os modelos resumem o que se conhece sobre a situação modelada e assim delimitam os aspectos que necessitam dados melhores ou novos princípios. Um modelo não é um “modelo da realidade” propriamente dito, mas sim um modelo de sistema conceitual, criado por uma interpretação específica baseado em um referencial teórico elaborado (SKOVSMOSE, 1988).

### 1.3.3 Modelagem Ambiental

Segundo Smyth (1998), um modelo ambiental pode ser pensado como um micro-mundo definido por uma ontologia que consiste de um conjunto de entidades que o habitam, estrutura temporal e espacial, regras de comportamento e uma lógica. As entidades dos modelos ambientais caracterizam a paisagem do micro-mundo, ex: os corpos d’água. A escolha das entidades ou variáveis depende do intuito que o modelo será construído e do domínio ao qual ele se aplicará.

Diferentes tipos de conceitualizações e arcabouços foram propostos para modelar o tempo e o espaço. As regras de comportamento definem como as diversas entidades do micro-mundo poderiam evoluir e interagir, isto é, elas definem os possíveis comportamentos de um modelo. A lógica de um modelo ou as regras de inferência define que fatos podem ser deduzidos a partir de uma dada configuração do micro-mundo e como estes fatos podem ser deduzidos.

Os modelos científicos são como cenários que permitem aos pesquisadores considerarem elementos de um sistema ambiental como se realmente funcionassem da maneira descrita, não testando as hipóteses, mas permitindo o exame dos possíveis resultados, caso as hipóteses fossem verdadeiras (FEEMA, 1997). Os cenários são definidos como construções teóricas ou



experimentais que simulam eventos ou situações reais, de modo a estudar seu desenvolvimento e conseqüências, especular sobre suas possibilidades e avaliar os impactos. O cenário é uma situação com limites e condições estabelecidas.

#### 1.3.4 A Importância da Modelagem para a Educação Ambiental

Para Santos (1999), educação ambiental é o processo educacional de estudos e aprendizagem dos problemas ambientais e suas interligações com o ser humano na busca de soluções que visem à preservação do meio ambiente.

Atualmente, a educação ambiental assume um caráter mais realista, embasado na busca de um equilíbrio entre o ser humano e o ambiente, com vista à construção de um futuro pensado numa lógica sustentável de desenvolvimento e progresso. Para ser efetivo um programa de educação ambiental deve promover simultaneamente o desenvolvimento de conhecimento, de atitudes e de habilidades necessárias à preservação e melhoria da qualidade ambiental.

A problemática ambiental atual decorrente da forma e intensidade que as interações atingem ameaça colocar em risco as sociedades e o ambiente. É necessário, mudanças de comportamento, de discussão e construção de formas de pensar e agir na relação com a natureza. A compreensão crítica do mundo só é possível se levarmos em conta a sua complexidade decorrente do emaranhado de interações entre seus componentes. Essa compreensão implica na superação da fragmentação do conhecimento (RUSSO; KURTZ DOS SANTOS, 2001).

Utilizando-se a modelagem matemática como uma ferramenta didática conectada com a educação ambiental, aquela pode ser aprendida e entendida como um instrumento para a compreensão e possível modificação da realidade. A junção de sistemas matemáticos com o meio ambiente deve converter-se num processo criativo que constitui a porta de intercâmbio e a fertilização dos comportamentos dinâmicos.

Dentro do contexto do trabalho, a utilização da modelagem qualitativa, através da técnica dos hexágonos, proposta por Hodgson (1994) propõe um intercâmbio entre os pensamentos generalistas dos tomadores de decisões e o pensamento especializado dos modeladores, através do agrupamento de hexágonos que permite a combinação de um ícone e uma idéia: um ídome. A utilização da técnica dos hexágonos é o primeiro passo para visualizar as principais variáveis que vão compor os modelos servindo de base para que se realizem as interações do fluxo do nitrogênio entre o sistema de cultivo e o corpo d'água no qual estão inseridos, é uma forma de contribuir para o entendimento da dinâmica do sistema. A visualização da interação dos sistemas de cultivo do tipo cercados e o meio ambiente ficaria bem mais compreensível e palpável para que os produtores de camarão pudessem visualizar as melhores maneiras de conduzir os cultivos, minimizando os prejuízos ao meio ambiente aquático e tendo lucro com a atividade. A importância, das variáveis do sistema e das relações entre elas, ficaria bem mais clara, facilitando a compreensão do processo como um todo.

Com relação à modelagem semiquantitativa, através das ferramentas VISQ (Variáveis que interagem de modo semiquantitativo) (KURTZ DOS SANTOS *et al.*, 1997) e STELLA<sup>®</sup> (Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation) (RICHMOND, 1987), a importância da educação ambiental se justifica porque o uso destas ferramentas é uma maneira de elucidar estudantes e pesquisadores de uma forma mais ampla e complexa, através da utilização de gráficos e da possibilidade de visualizar a mudança do sistema ao longo do tempo, bem como para que os mesmos compreendam que os problemas ambientais interligam-se uns aos outros. Desta forma, a importância da modelagem qualitativa e semiquantitativa para a educação ambiental é em função da forma como esta ferramenta descreve o sistema, de maneira integrada

unindo as variáveis e possibilitando a visão do sistema não como uma estrutura fragmentada, mas como um todo, reiterando a importância do estudo dos sistemas em forma de rede fornecendo, assim, uma maior bagagem educacional àqueles que estudam os problemas ambientais.

### 1.3.5 Utilização da modelagem na aqüicultura

Estudos que demonstram, através da dinâmica de sistemas a performance dos sistemas de aquacultura de forma mais integrada se faz necessário para prevenir e atuar sobre alguns processos na prática da aquacultura (Gomez-Galindo 2000).

Assim, dentro deste contexto, a modelagem é considerada uma ferramenta poderosa para se compreender os processos de dinâmica dos sistemas, testar hipóteses e sintetizar estudos empíricos (LORENZEN *et al.* 1997). Gomez-Galindo (2000) em seu trabalho destaca a importância desta ferramenta para descrever a integração dos sistemas de cultivo com o meio ambiente aquático e os processos que ocorrem ao longo do ciclo de produção dos cultivos.

A utilização da modelagem na aquacultura visa avaliar os cultivos como unidades sistêmicas, com o objetivo de superar as pesquisas individuais e desconectadas, fornecendo maior compreensão e inferência sobre a estrutura e funcionamento dos sistemas de cultivo. Para esta atividade modelos já têm sido elaborados para responder a uma série de questões, estudar o comportamento dos sistemas, permitir práticas de gerenciamento mais eficazes e prever as respostas do sistema em função das forças que o controlam (Burford & Lorenzen, 2004).

Assim, este trabalho foi elaborado utilizando as modelagens, qualitativa e semiquantitativa como uma forma de elucidar os processos de interação dos sistemas de cultivo do camarão *Farfantepenaeus paulensis* e o meio ambiente aquático com base no fluxo do nitrogênio.

### 1.3.6 Modelagem Qualitativa e Semiquantitativa

A modelagem qualitativa está presente, principalmente, na fase de desenvolvimento de um modelo conceitual, não sendo um meio adequado de construir um modelo dinâmico, contudo é um primeiro passo para construção deste.

A modelagem qualitativa é quando o modelador pensa sobre as principais entidades e como estas devem estar relacionadas. Nesta fase, não há uma preocupação se alguma entidade está aumentando ou diminuindo. A pesquisa realizada através de um modelo conceitual tem como principal vantagem dar uma forma concreta a idéias abstratas.

Já a modelagem semiquantitativa envolve raciocínios não numéricos em que é esperada uma modificação em termos de aumento e diminuição do valor de uma entidade ou variável, sem a intenção de quanto foi à variação. A modelagem semiquantitativa é a representação do raciocínio semiquantitativo fazendo uso de ferramentas computacionais que permitam o desenvolvimento dos diagramas causais (VISQ) e dos diagramas de fluxos com taxas e níveis (Mapeamento STELLA<sup>®</sup>), na tela do computador. Não há resultados numéricos, apenas mudanças nos estados semiquantitativos das entidades representadas.

## 2.0 OBJETIVOS

Este artigo foi desenvolvido, com a finalidade de criar cenários, inserido no contexto de princípios de sistemas, da interação dos sistemas de cultivo e do meio ambiente aquático

identificando quais e em que situações o excesso dos compostos nitrogenados acarretariam impactos na qualidade do corpo d'água, demonstrando como poderia realizar-se a prática da carcinicultura sem, contudo, comprometer a qualidade da água. O presente trabalho visa explicar e desenvolver, através de modelos, qualitativo e semiquantitativos, as entradas, os acúmulos e saídas do nitrogênio dos cultivos de camarão e avaliar a interação dos cercados e do meio ambiente aquático com base na avaliação do aporte de nitrogênio nas águas adjacentes ao cultivo.

### 3.0 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho os cultivos em sistemas abertos do tipo cercados do camarão-rosa *F. paulensis*, em cercados seriam realizados em uma enseada típica do Estuário da Lagoa dos Patos, o Saco da Mangueira. As estruturas de cultivo seriam do tipo cercados. É importante ressaltar que o material utilizado é de baixo custo e fácil aquisição, para facilitar a implementação e manutenção dos cercados para as famílias de pescadores.

A determinação teórica da saída de nitrogênio do cultivo será demonstrada com base nas entradas de nitrogênio no cultivo, no crescimento dos camarões e na qualidade de água.

#### 3.1 Modelagem Qualitativa - Técnica dos Héxagonos

O modelo qualitativo foi elaborado utilizando a técnica dos hexágonos proposto por Hodgson (1994) para dar forma aos processos decorrentes do fluxo do nitrogênio na interação sistema de cultivo e meio ambiente aquático do ELP. Este modelo é realizado através do encaixe dos principais processos que refletem as entradas, passagens e saídas do nitrogênio no sistema de cultivo do tipo cercados.

#### 3.2 Modelagem Semiquantitativa - A Ferramenta de Modelagem VISQ

A ferramenta computacional VISQ, acrônimo de variáveis que interagem de modo semiquantitativo, foi utilizada para a elaboração de modelos que retratassem a realidade no que diz respeito aos fatores relacionados com o desenvolvimento dos cultivos e do fluxo do nitrogênio neste sistema. O software VISQ foi desenvolvido por uma equipe do projeto Profecom (Projeto de desenvolvimento e uso de ferramentas computacionais para o aprendizado exploratório de ciências), que utiliza a matemática das redes neurais, fazendo com que neurônios e sinapses, representados por caixas e elo, respectivamente, descrevam um comportamento dinâmico em função do tempo, fornecendo uma interpretação sistemática e permitindo através da criação de modelos mentais a criação de modelos semiquantitativos. Esta ferramenta é um modo de externalizar as idéias e principalmente atuar sobre elas.

Neste sentido, o VISQ, é amplamente utilizado para permitir através dos diagramas causais a representação de modelos mentais. Kurtz dos Santos (1995) apresenta os diagramas causais como uma técnica de representar sistemas. O VISQ através de sua atuação interativa com quadros e setas pode simular modelos e gerar gráficos destes.





A montagem dos modelos semiquantitativos na ferramenta de modelagem VISQ foi realizada utilizando variáveis selecionadas em função da importância e da relevância destas no fluxo do nitrogênio da coluna d'água. As informações que foram atribuídas, sobre as variáveis que alimentaram o modelo para que fossem realizadas as simulações, eram consideradas as melhores condições ambientais e de manejo, que representa o sucesso do cultivo. A simulação foi realizada atribuindo-se que havia um cercado no local, uma vez que o estudo é teórico e tem

como intuito demonstrar o funcionamento do sistema com êxito em seu ciclo de produção. Cabe salientar que a colocação de mais cercados depende da capacidade de assimilação do sistema.

### 3.3 A Ferramenta Computacional STELLA®

O modelo final elaborado neste trabalho utiliza o software STELLA®, versão 7.0., baseado na teoria de sistemas (BERTALANFFY, 1968). STELLA® é o acrônimo para “Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation” (RICHMOND *et. al.*, 1987).

No modo MAPA, o programa STELLA® possibilita a pesquisa com os diagramas de fluxo, permitindo uma descrição semiquantitativa do sistema, isto é, sem a necessidade de definir valores iniciais para os taxas e níveis. Este trabalho com mapas de taxas e níveis pode ser definido como “encanamento essencial do sistema”.

A representação gráfica dos principais elementos, presentes em um diagrama de blocos construído pelo uso dessa ferramenta, são: estoques , fluxos , conversores  e conectores . Os estoques são representados pelo símbolo caixa, cujo valor inicial pode crescer e decrescer de acordo com o fluxo de entrada e saída de uma ou mais variáveis que o influenciam. Eles modelam quantidades de matéria ou energia, e.x.: a quantidade de nitrogênio total contido em uma estrutura de cultivo em um determinado momento. Os fluxos demonstram quão rápido a quantidade do estoque muda e o quanto são capazes de modelar o escoamento de uma determinada quantidade de energia ou matéria por unidade de tempo para dentro ou para fora dos estoques como, por exemplo, o nitrogênio perdido pelo alimento não consumido. Os conectores são artifícios utilizados pela ferramenta de modelagem para modelar fluxos de informação entre os componentes anteriores. Estes são úteis para a modelagem de retroalimentações como, por exemplo, compostos nitrogenados que voltam ao meio de cultivo, após saírem do sistema. Já os conversores são quantidades representadas por um círculo e podem ser constantes, e.x.: volume da enseada do Saco da Mangueira, ou podem ser obtidas a partir de outras quantidades.

O modelo construído através desta ferramenta computacional retratou o fluxo do nitrogênio no meio aquático através da interação cercado e ambiente. Desta forma, uma ferramenta de modelagem espaço-temporal deve oferecer serviços que permitam ao modelador construir cenários fictícios e testar suas hipóteses.

Para a construção do modelo semiquantitativo utilizando a ferramenta computacional STELLA® foram utilizadas as variáveis que retratavam o fluxo do nitrogênio nos sistemas de cultivo que foram utilizadas nos modelos prévios e outras variáveis descritas no modelo de Poersch (2004) que também deram embasamento para a construção deste modelo semiquantitativo.

### 3.4 Calibração e Validação do Modelo

Após a escolha das variáveis relevantes, o modelo precisa ser calibrado com o ajuste dos dados disponíveis sobre a realidade como os dados de campo ou através de dados empíricos. Estes deram embasamentos para a construção do modelo bem como trabalhos realizados com cultivos em cercados (WASIELESKY, 2000), (WASIELESKY, *et al.*, 2004) e (POERSCH, 2004). No processo de calibração são determinadas as variáveis que realmente possuem uma relação causa/efeito com o processo de mudança, ou seja, há questionamentos sobre a estrutura causal do modelo (CARNEIRO, 2004). Por exemplo, determinar se as variáveis, densidade de

organismos nos cercados e a variação da quantidade de alimentação fornecida realmente explicam processos de mudança na qualidade de água do corpo d'água adjacente. Também é necessário que o modelo seja submetido a uma validação estrutural e do seu resultado. Isto é, uma verificação de quanto o modelo implementado no software representa o modelo qualitativo e uma verificação da qualidade com que o resultado do modelo caracteriza o fenômeno em estudo (VELDKAMP; LAMBIN, 2001). A validação é realizada comparando se os resultados gerados pela simulação correspondiam aos registros encontrados no ambiente.

Neste trabalho a utilização da calibração e da validação do modelo é realizada com um caráter qualitativo. Então a questão formulada é se o comportamento qualitativo da solução é apropriado para representar o sistema. As condições assumidas no trabalho são as que refletiriam sucesso do ciclo de produção do camarão.

## 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 SISTEMA DE CULTIVO: CERCADOS

O sistema alternativo de cultivo do tipo cercado apresenta uma série de vantagens frente a outros sistemas de cultivo como os tanques e viveiros que requerem gastos elevados, os cercados além de ter um custo de produção menor e possibilitar aos pescadores o acesso à produção permite que os organismos mantenham seus hábitos naturais, como o de se enterrar no sedimento ou de se alimentar de organismos bentônicos (WASIELESKY, 2000). Devido à alta hidrodinâmica local os cultivos são submetidos a uma renovação contínua de água, permitindo a diluição dos compostos nitrogenados e a manutenção da qualidade de água.

Nos cercados, os principais impactos ambientais podem estar associados ao acúmulo de matéria orgânica, sendo que os compostos nitrogenados são os principais produtos e subprodutos originados a partir dos aportes de matéria orgânica no sistema (BRUNE; TOMASSO, 1991). No ambiente, esses compostos podem ser acumulados, bioprocessados ou carreados para outros locais. Para que a qualidade hídrica dos sistemas de produção seja mantida deve haver altas taxas de renovação das águas, o que era característico dos cercados.

Nos sistemas de cultivo do tipo cercados, estima-se que baixas taxas de renovação ocorram em menor escala, mas é essencial que haja grande circulação da água e que o ambiente no qual os sistemas de cultivo estão inseridos tenha uma área adequada para que as produções ali implantadas sejam sustentáveis (WASIELESKY, 2000).

Neste estudo foi considerado que os parâmetros ambientais, temperatura e salinidade, estiverem dentro dos já relatados pela bibliografia e dentro das médias vigentes para o Estuário da Lagoa dos Patos (MARCHIORI *et al.*, 1982) e (BAUMGARTEN; NIENCHESKI 1990). Atribui-se que os valores destes parâmetros estariam dentro dos limites considerados ótimos para a biologia do camarão-rosa *F. paulensis* para o seu crescimento e sobrevivência, permitindo o sucesso do ciclo de produção (WASIELESKY; POERSCH; BIANCHINI, 1999). Estes parâmetros abióticos não são utilizados no modelo propriamente dito, mas devem ser ideais para a espécie para que se façam simulações e previsões do sistema em estudo.

Os dados de sobrevivência sugeridos neste trabalho são obtidos somente no ato da despesca. Em média, estimou-se que a taxa final de sobrevivência foi de 90%, em função dos valores já relatados por trabalhos como segue: Wasielesky; Poersch; Bianchini (1999) obteve 93,3% de sobrevivência em 90 dias de cultivo e Domingues (2000) encontrou percentuais em torno de 95%, ambos com uma densidade de 30 camarões/m<sup>2</sup>. O valor estimado de 90% seria considerado bastante satisfatório para o êxito do cultivo.

## 4.2 ALIMENTAÇÃO

Para a realização deste trabalho foi arbitrado para a criação de cenários e simulação do modelo que a quantidade e a qualidade da ração e de rejeitos de pesca fornecidos, de maneira correta e bem gerenciada (WASIELESKY, 2000), não afetariam negativamente o sistema, em função da hidrodinâmica do local (PEREIRA, 1997), não ocasionando a deteriorização da qualidade de água demonstrando uma eficiência no processo de manejo. Barbieri; Ostrensky (2002) sugerem que se a ração for fornecida na quantidade correta, cerca de 85% será consumida pelos camarões. Assim, mesmo se o manejo for realizado de uma maneira adequada, haverá uma perda direta de cerca de 15% da ração. Uma parte da ração consumida também é excretada através de resíduos metabólicos e perdida através da troca de carapaça (mudas). Estima-se que apenas 25% da ração fornecida ao longo de um cultivo seja efetivamente transformada em massa muscular e “recuperada” na despesca.

Quando o alimento é consumido e excretado observou-se que a excreção de amônia ( $N-NH_3^+$ ) era representada por mais que 85% da excreção nitrogenada de camarões marinhos (COCKCROFT; MCLACHLAN, 1987). A amônia também pode ser produto da mineralização de alimentos ingeridos e não ingeridos. Níveis de 10-20% de alimento não ingerido são freqüentemente reportados em cultivos semi-intensivos. Uma vez liberada no sistema a amônia volatiliza rapidamente e é utilizada por organismos, se convertendo rapidamente em  $N-NH_4^+$  através dos processos de decomposição e mineralização (BARBIERE; OSTRENSKY, 2002).

Na grande maioria dos casos estudados, a carcinicultura é considerada um fator de poluição, causando uma série de efeitos negativos ao ecossistema. No caso específico do cultivo de camarões peneídeos, Boyd (1990) menciona que o fornecimento de alimento é o principal fator causador da deterioração da qualidade de água através da liberação de nutrientes inorgânicos na coluna d'água e do acúmulo de matéria orgânica no sedimento que pode causar anoxia do sedimento e eventual remineralização e retorno dos nutrientes para a coluna d'água prejudicando, assim, o próprio cultivo. O alimento não consumido e as fezes dos camarões contribuem como uma fonte poluidora. Já os nutrientes provenientes dos excrementos dos camarões, mudas e matéria orgânica em decomposição também contribuem para este enriquecimento da água. Este processo de eutrofização aquática estimula o crescimento do fitoplâncton e de macroalgas oportunistas, com produção de mais matéria orgânica e consumo excessivo de oxigênio. Os efeitos deletérios do aporte alimentar tendem a ser maior com o aumento da densidade de estocagem.

## 4.3 VELOCIDADE DE CORRENTE E TAXA DE RENOVAÇÃO DE ÁGUA

As velocidades das correntes interferem nas taxas de renovação de água, afetando a dispersão dos compostos nitrogenados dentro do ecossistema aquático. No presente trabalho foi atribuído que as taxas de renovação de água embora variáveis, foram suficientemente altas, estando de acordo com o trabalho de Almeida (2002) que registrou uma renovação mínima de 300% nos cercados, o que permite manter altas taxas de dispersão e baixas concentrações dos compostos nitrogenados. A mesma autora avaliou o impacto ambiental de cultivos de *F. paulensis* sobre a qualidade de água do ELP em função dos valores de velocidade de corrente e da concentração de nutrientes, observando que não houveram alterações nas características físico-químicas das águas durante o cultivo com densidade de 15 camarões/m<sup>2</sup>.

#### 4.4 FLUXO DO NITROGÊNIO

O ELP, não apresenta uma constância das suas características ambientais, como a concentração de nutrientes, havendo alternância em curtos espaços de tempo. Assim, não há como afirmar que mudanças ambientais que podem ocorrer no sistema são decorrentes dos cultivos, de variações sazonais ou de aportes naturais e antrópicas. Por sua vez, neste trabalho foi sugerido que não haveriam diferenças expressivas dos parâmetros analisados em relação ao local de instalação dos cultivos, o que reforçaria a hipótese de que o cultivo de camarão em cercados, na densidade utilizada, não interferiria na qualidade de água. Cabe salientar que as descargas de água doce e salgada afetam a variabilidade temporal e espacial de diversos parâmetros físico-químicos (MÖLLER *et al.* 2001), inclusive a concentração de nutrientes (NIENCHESKI; WINDOM, 1994).

Para prevenir a deterioração da qualidade de água, a aquicultura depende principalmente da capacidade do meio ambiente de assimilar compostos nitrogenados, para que não afete a integridade ecológica do sistema. Se a liberação de compostos nitrogenados excederem a capacidade de assimilação do sistema, as saídas de água podem afetar a qualidade de água, o crescimento e a sobrevivência dos organismos cultivados e a integridade do ecossistema.

#### 4.5 MODELOS

##### 4.5.1 Modelo Qualitativo

O uso da técnica dos hexágonos é o primeiro passo para visualizar as principais variáveis que compõe os modelos servindo de base para que se realizem as interações do fluxo do nitrogênio entre o sistema de cultivo e o corpo d'água no qual estão inseridos. Assim, a técnica dos hexágonos utilizada representa o fluxo de nitrogênio em sistemas de produção de camarão.

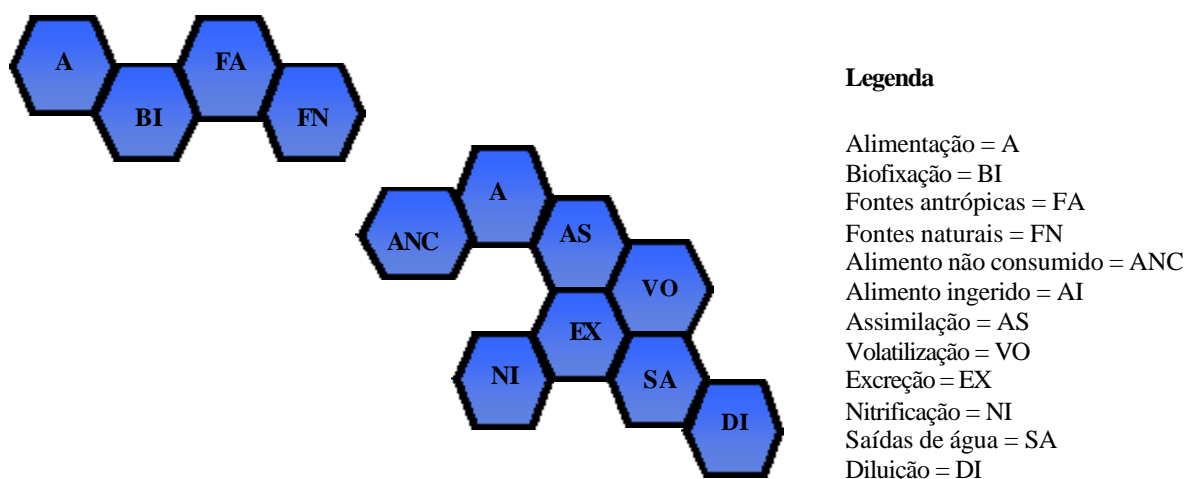


Figura 1 - Modelo conceitual do fluxo do nitrogênio em sistemas de cultivo e suas interações com o corpo d'água adjacente.

Através da técnica dos hexágonos foi explicitado um modelo conceitual, que representa as passagens e os processos do fluxo do nitrogênio em sistemas de cultivo do tipo cercados. O primeiro agrupamento de hexágonos é representado pelas principais entradas de nitrogênio neste tipo de cultivo. O outro conjunto de hexágonos reflete variáveis e processos que ocorrem na coluna d'água no sistema de cultivo e nas saídas para o corpo d'água.

#### 4.5.2 Modelo Semiquantitativo VISQ

Através da ferramenta computacional VISQ foi possível demonstrar as interações entre as variáveis relacionadas ao cultivo e as interações do nitrogênio e o meio ambiente aquático.

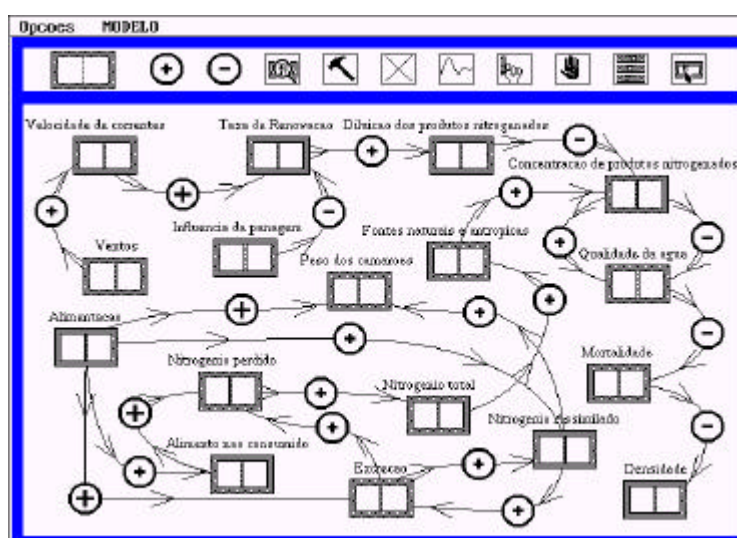


Figura 2 - Modelo das variáveis relacionadas à interação do sistema de cultivo e o meio ambiente aquático.

O modelo representado na figura 2 envolve as variáveis que estão inseridas em um sistema de produção de camarão em relação ao fluxo do nitrogênio nos cercados e no corpo d'água adjacente.

O modelo é explicado da seguinte forma: se há uma maior intensidade dos ventos atuando sobre o estuário, a velocidade das correntes tende a aumentar, ou seja, há uma circulação de água mais intensa, promovendo uma maior taxa de renovação da água nos cercados. Esta, contudo, é influenciada pela panagem da rede. Caso esta esteja colmatada, por falta de limpeza, a taxa de renovação será menor. A variação da taxa de limpeza não foi considerada uma vez que se atribuiu que o manejo era feito corretamente impossibilitando a interferência de um possível processo de colmatagem. Quanto maior a taxa de renovação, maior a diluição dos compostos nitrogenados diminuindo, assim, suas concentrações no sistema de cultivo e no corpo d'água, o que mantém uma boa qualidade de água. Isto promove a sobrevivência dos organismos e mantém baixa a taxa de mortalidade. Inserido em outro elo, mas que também se conecta ao anterior como um contribuinte antrópico está o fornecimento de alimento que é considerado a maior entrada de nitrogênio nos cercados. Este afeta positivamente o peso dos camarões e com isto sua biomassa, ou seja, o peso dos indivíduos em uma determinada área, resultando em uma maior produtividade por área. Com relação ao nitrogênio, este é assimilado pelo processo de alimentação e parte do



que é excretado pode ser novamente assimilado, assim, a excreção acaba por contribuir para o nitrogênio que é liberado no meio ambiente aquático adjacente. O alimento fornecido, mas que não é consumido é o maior contribuinte para o nitrogênio em excesso. No fornecimento do alimento parte é perdida, através da manipulação do alimento pelos camarões. Em todas as suas formas o nitrogênio é representado pelo nitrogênio total que acaba sendo um contribuinte para as fontes antrópicas. O nitrogênio total é referente à soma de todas as formas de nitrogênio e representa todos os processos de acumulações e perdas que ocorrem em um sistema de cultivo. Através da análise destes processos podemos analisar através dos cenários do fluxo do nitrogênio nos sistemas de cultivos, o que facilitará o entendimento das transferências e dos impactos do nitrogênio no meio ambiente aquático.

O programa de modelagem computacional VISQ permite ao modelador trabalhar com 6 variáveis por vez, assim foram separados grupos de variáveis que demonstrassem diferentes cenários do fluxo do nitrogênio. As demais variáveis foram isoladas para a elaboração da figura 3 que reflete o “comportamento do cultivo”, quanto ao fluxo do nitrogênio no sistema.

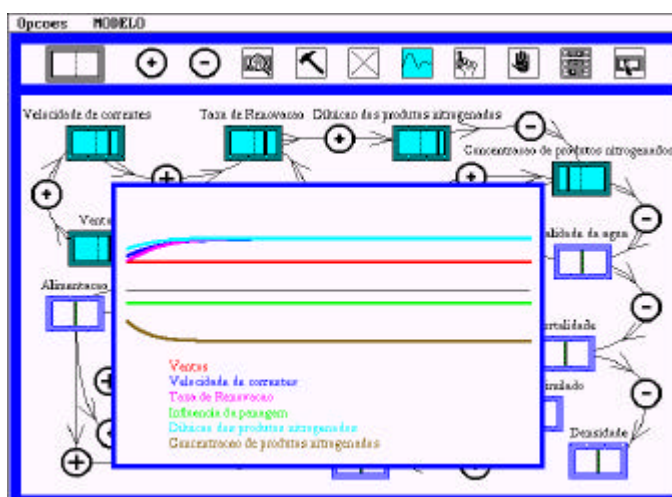


Figura 3 - Simulação gráfica do modelo de interação do cultivo em cercados com o meio ambiente aquático. Representação das variáveis: velocidade dos ventos, velocidade das correntes, taxa de renovação da água, diluição e concentração de produtos nitrogenados e influência da panagem.

A figura 3 demonstra que a ação dos ventos promove um aumento da velocidade das correntes e nas taxas de renovação de água, estas tendem a aumentar e com o tempo alcançar o equilíbrio promovendo uma diluição dos compostos nitrogenados, diminuindo as concentrações destes. A influência da panagem dos cercados é considerada baixa e constante.

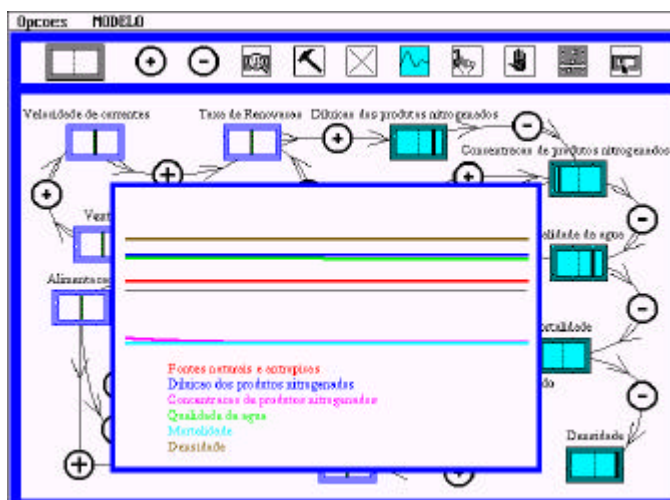


Figura 4 - Simulação gráfica do modelo de interação do cultivo em cercados com o meio ambiente aquático. Representação das variáveis: fontes naturais e antrópicas, diluição dos produtos nitrogenados, concentração de produtos nitrogenados, qualidade de água, mortalidade e densidade.

A figura 4 demonstra que mesmo se as fontes naturais e antrópicas forem um pouco acima do que é normalmente encontrado, a diluição dos produtos nitrogenados é considerada alta e suas concentrações menores, mantendo boa a qualidade da água, taxas de mortalidade baixas e as densidades constantes.

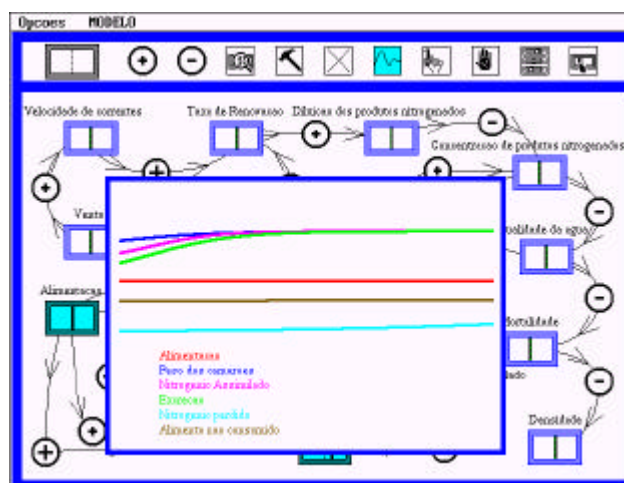


Figura 5 - Simulação gráfica do modelo de interação do cultivo em cercados com o meio ambiente aquático. Representação das variáveis: alimentação, peso dos camarões, nitrogênio assimilado, excreção, nitrogênio perdido e alimento não consumido.

Através da figura 5 podemos observar que quando o processo de alimentação for bem gerenciado, o nitrogênio assimilado pelos camarões vai ser maior tendendo ao equilíbrio bem como o peso dos camarões. A excreção também aumenta em função da alimentação que é obviamente o maior contribuinte para este processo. O alimento não consumido é baixo porque o gerenciamento do sistema de cultivo é bem executado, bem como o nitrogênio perdido que cresce

levemente ao longo do tempo em função do processo de excreção e do alimento não consumido. O nitrogênio assimilado pelos camarões, através do aproveitamento da excreção, em um processo de retroalimentação, tende a aumentar ainda mais o peso dos camarões.

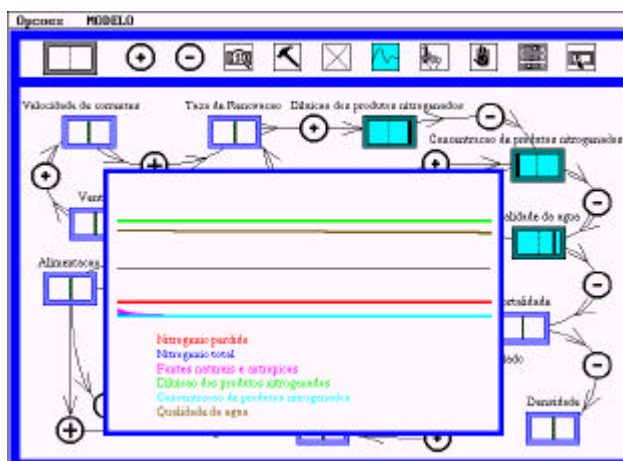


Figura 6 - Simulação gráfica do modelo de interação do cultivo em cercados com o meio ambiente aquático. Representação das variáveis: nitrogênio perdido, nitrogênio total, fontes antrópicas e naturais, diluição dos compostos nitrogenados, concentração de compostos nitrogenados e qualidade de água.

Através da figura 6 podemos observar que no sistema de cultivo do tipo cercados o nitrogênio perdido pode ser considerado baixo, em função dos elos serem bem gerenciados e das transformações e processos do nitrogênio ocorrerem de forma intensa, assim o nitrogênio total que sai do sistema de cultivo também será baixo.

As fontes naturais e antrópicas tanto do ambiente como provinda da contribuição dos próprios cercados são consideradas baixas, sem afetar o processo de produção, bem como o meio ambiente aquático no qual está inserido. Além disso, a diluição dos compostos nitrogenados é considerada alta, diminuindo suas concentrações, mantendo assim a qualidade de água do corpo d'água. Exceções são em dias quentes de verão quando a diluição diminui em função da associação de temperaturas altas e baixa intensidade dos ventos, contudo, reiterando-se que Almeida (2002) registrou que nesta época do ano a troca mínima de água dentro do cercado foi de 300% ao dia.

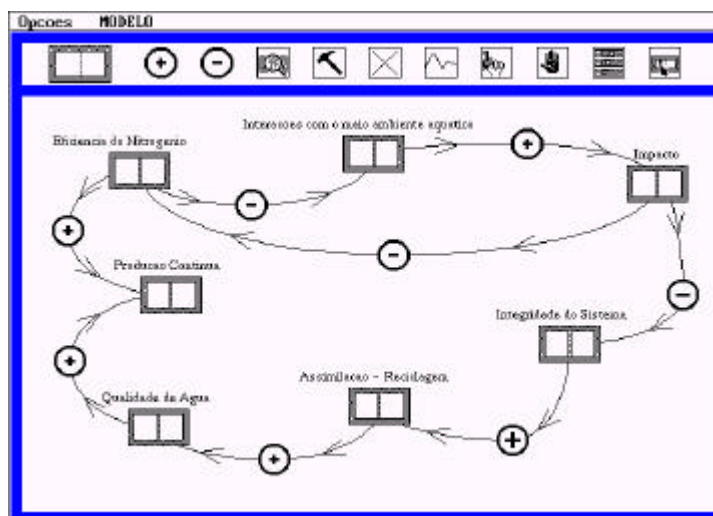


Figura 7 – Modelo de sustentabilidade ecológica de um cultivo de camarões em cercados, representando as conseqüências da eficiência de assimilação de nitrogênio sobre a qualidade de água, a produtividade do cultivo e a integridade do sistema.

No modelo representado graficamente na figura 7, adaptado do trabalho de Gomez-Galindo (2000) a eficiência de assimilação do nitrogênio se refere ao nitrogênio que entra no sistema de cultivo e é convertido em crescimento dos camarões. As interações com o meio ambiente aquático e o impacto sobre este será menor quando as saídas de água dos cultivos apresentam concentrações baixas de nutrientes, permitindo a manutenção da integridade ecológica do sistema. Assim, a capacidade de assimilação dos compostos nitrogenados e a reciclagem dos mesmos pelo ecossistema adjacente acabam sendo maiores permitindo a manutenção da qualidade de água. Isto beneficia a capacidade de produção do próprio sistema de cultivo, tornando-o autosustentável.

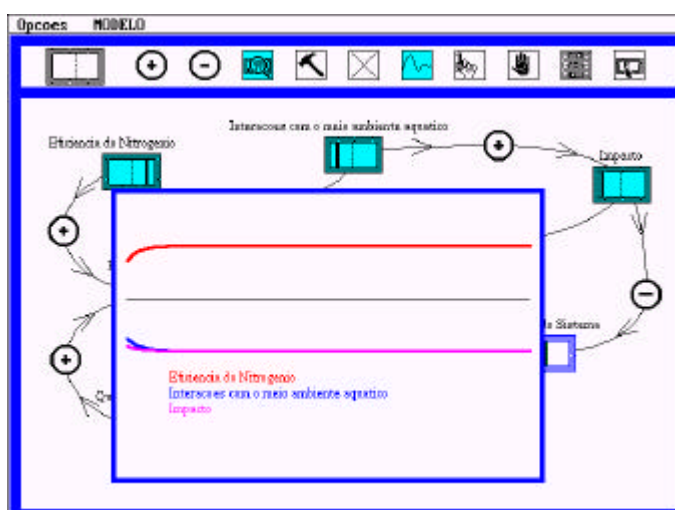


Figura 8 – Simulação gráfica do modelo de sustentabilidade ecológica dos cultivos em cercados. Representação das variáveis: eficiência do nitrogênio, interações com o meio ambiente aquático e impacto no meio ambiente aquático.

Através da figura 8 observa-se que quando a eficiência de assimilação do nitrogênio é alta e constante, as interações com o meio ambiente aquático são menores, assim, o impacto ao ambiente aquático é menos intenso, retroalimentando, assim, a eficiência de assimilação do nitrogênio.

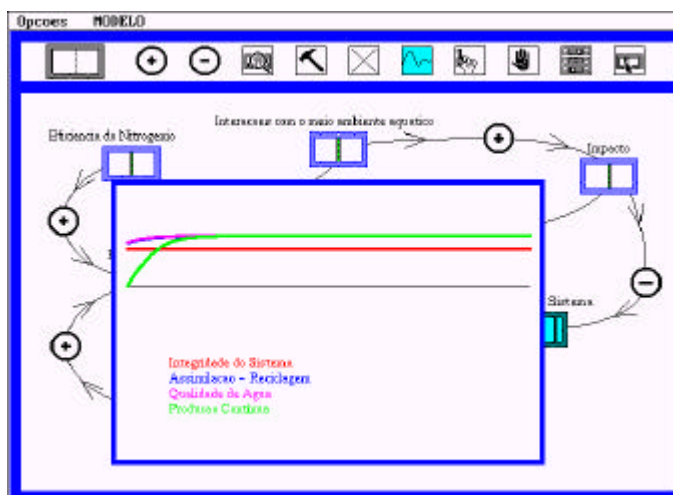


Figura 9 - Simulação gráfica do modelo de sustentabilidade ecológica dos cultivos em cercados. Representação das variáveis: integridade do sistema, assimilação e reciclagem e qualidade de água.

Através da figura 9 podemos analisar que mantida a integridade natural do sistema, a capacidade de assimilação e reciclagem dos compostos nitrogenados pelo corpo d'água, ou seja, a capacidade de suporte do corpo d'água será alta, mantendo a qualidade de água boa e as produções contínuas vão aumentando até atingirem um equilíbrio.

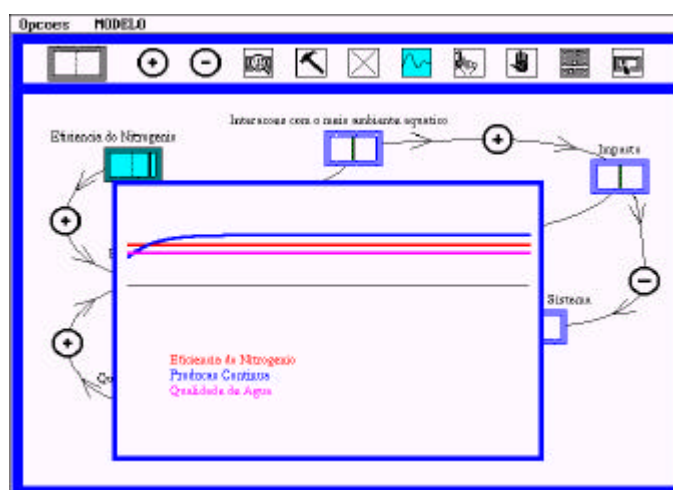


Figura 10 – Simulação gráfica do modelo de sustentabilidade ecológica dos cultivos em cercados. Observação das variáveis: qualidade da água, produção contínua e eficiência de nitrogênio.

O gráfico representado na figura 10 obtido demonstra que em um sistema com alta eficiência de assimilação de nitrogênio pelos camarões, a qualidade de água é mantida alta, aumentando-se as produções e mantendo as mesmas continuamente.

#### 4.5.3 Modelo Semiquantitativo STELLA<sup>®</sup> (Modo MAPA)

Outro modelo semiquantitativo criado neste trabalho utilizando a ferramenta computacional STELLA<sup>®</sup> (Fig.11), foi adaptado do descrito por Poersch (2004). O modelo retrata o fluxo de nitrogênio nos sistemas de cultivo, tentando trazer rigor aos sistemas dinâmicos. Contudo, não deve ser usado como única fonte de tomada de decisões, já que é necessário ser quantitativo para dar confiabilidade ao modelo, mas pode servir como um cenário do que ocorre na interface meio ambiente aquático e o sistema de cultivo.

O modelo é constituído dos estoques: nitrogênio total com o fluxo de entrada nitrogênio acumulado e os fluxos de saída sedimentação e diluição, os estoques: densidade, peso dos camarões, nitrogênio perdido e excretado; a densidade de organismos tem como fluxo de saída à mortalidade dos camarões. Já o estoque peso dos camarões tem como fluxo de entrada a assimilação. E os estoques nitrogênio perdido e excretado têm como fluxos de entrada o alimento não consumido e a excreção, respectivamente. Há uma série de conversores e conectores, entre eles a taxa de renovação e a velocidade das correntes, os quais influenciam nas quantidades de entrada e saída de matéria e energia (fluxos) do estoque.

Este modelo pode ser utilizado didaticamente para entender e ilustrar o funcionamento da associação dos cercados e do meio ambiente aquático pela dinâmica do fluxo do nitrogênio. O modelo demonstra a integração das variáveis que envolvem e refletem este sistema, com o intuito de fornecer uma visão integrada do mesmo.

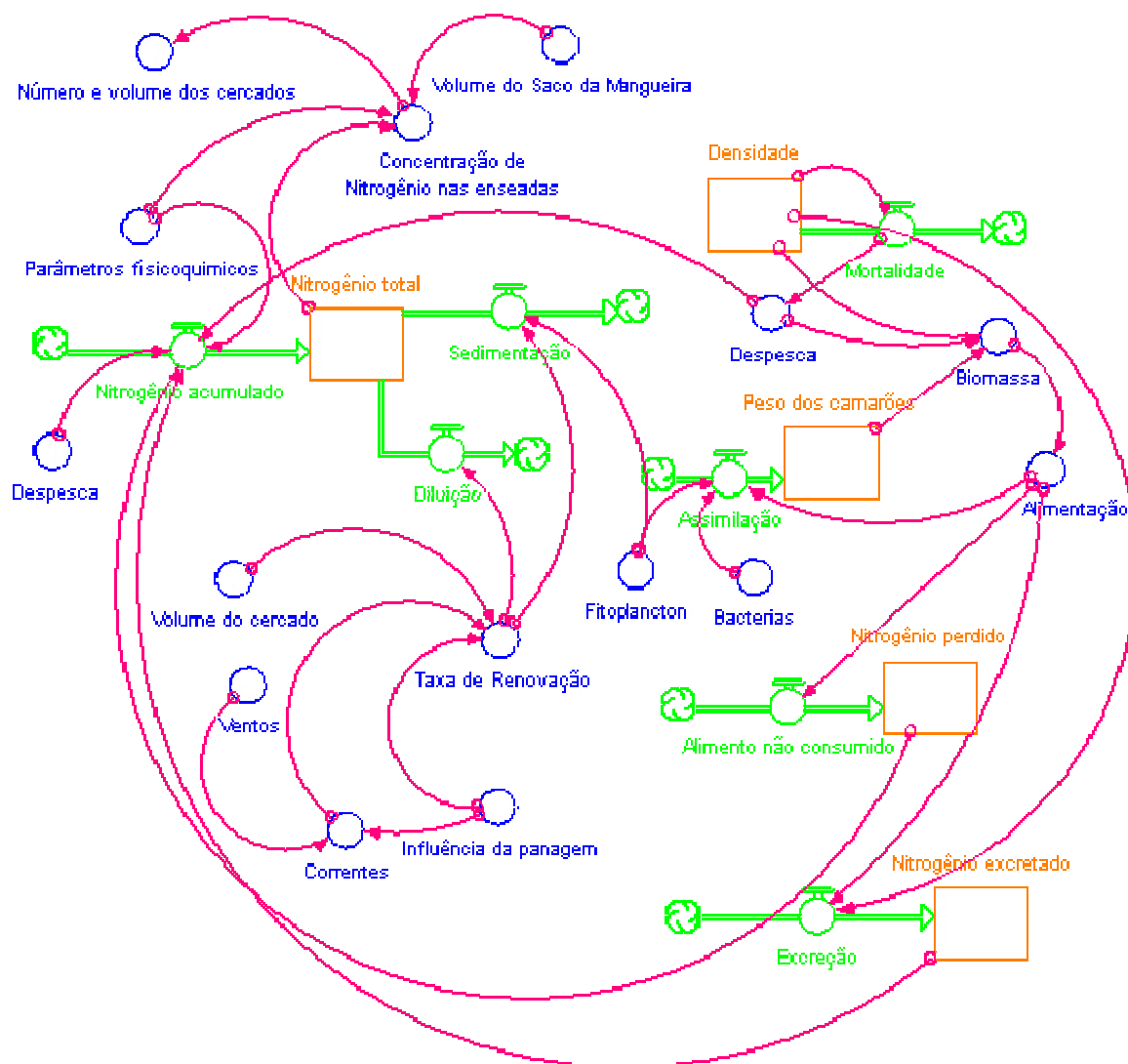
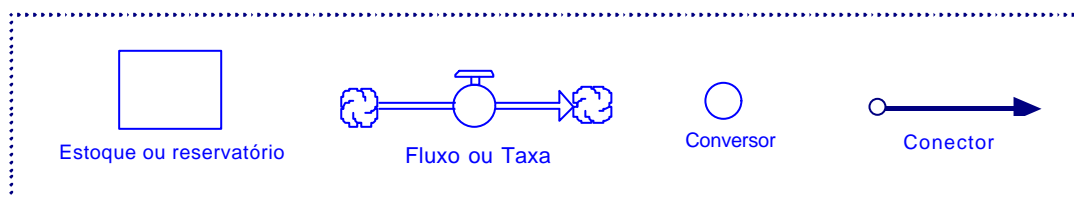


Figura 11 - Modelo semiquantitativo da ferramenta de modelagem STELLA<sup>®</sup> baseado no fluxo do nitrogênio entre o meio de sistema de cultivo e o meio ambiente aquático.



#### 4.6 IMPACTOS AMBIENTAIS NOS SISTEMAS DE CULTIVO

Neste trabalho sugestionou-se que a concentração de compostos nitrogenados variaram dentro dos limites já relatados na literatura (CONAMA, 2005), o que leva a crer que os sistemas

de cultivo não deterioram a qualidade da água e não afetam o meio ambiente aquático, se respeitada a capacidade de carga do sistema. Esta pode ser maior ou menor em função de uma série de fatores que alternam a dinâmica do sistema como as trocas com o sedimento, a assimilação pelos organismos do meio ambiente aquático, fontes antrópicas e a hidrodinâmica (McKINDESEY *et al.*, 2006).

Carroll *et. al.*, (2003), relatam que eventuais impactos ambientais provocados pelo excesso de nutrientes liberados dependem da taxa em que estes produtos são diluídos antes de serem assimilados pelo ecossistema estuarino. Entretanto, em um ambiente estuarino, como o Saco da Mangueira, os efeitos de nutrientes provindos da aquacultura podem ser considerados menores em relação a outras fontes, como o aporte natural indústria e esgotos residenciais. A colocação de mais cercados somente passará a ser mais uma fonte de adição de nutrientes, se o número de cercados ultrapassa-se a capacidade de suporte do meio ambiente aquático.

Almeida (2002) relatou que os possíveis impactos dos cercados sobre o meio ambiente aquático não foram considerados a fim de que possam ser minimizados ou até mesmo evitados.

Poersch (2004) destaca a possibilidade da inserção de 70 cercados no Saco da Mangueira sem impactar o meio ambiente aquático quanto ao aporte de nitrogênio para esta enseada rasa.

#### 4.7 OS CULTIVOS DENTRO DE UMA VISÃO SISTÊMICA

Cabe aqui salientar que a criação de camarões na cidade do Rio Grande (RS) tem como principal objetivo minimizar os problemas sócio-econômicos decorrentes das flutuações da pesca do camarão rosa (MARCHIORI, 1996), e fornecer as famílias locais que dependem da pesca uma nova alternativa de renda, sempre com a preocupação de não gerar impactos aos corpos d'águas dos quais os sistemas de cultivo fazem parte. Aspectos como a manutenção correta das estruturas de cultivo, o emprego de técnicas adequadas de arraçoamento, baixas densidades nos cercados podem significar o grande diferencial para o bom andamento do cultivo, tanto sócio-economicamente como ambientalmente. É importante que se estude os possíveis impactos ambientais decorrentes da aquacultura, mas há necessidade da associação destes com a questão da adaptação sócio-cultural que se faz-se necessária dentro do contexto da visão sistêmica. Este foco sócio-cultural é importante dentro dos programas de educação ambiental e de gerenciamento costeiro.

A manutenção correta das estruturas de cultivo (evitando-se a ocorrência de colmatações), o emprego de técnicas adequadas de arraçoamento, baixas densidades nos cercados podem significar o grande diferencial para o bom andamento do cultivo, tanto sócio-economicamente como ambientalmente. Com este cenário otimista é que aquicultores e modeladores podem e devem trabalhar juntos, potencializando os cultivos de camarão marinho em cercados, principalmente em função da sustentabilidade no que diz respeito à sociedade, economia e meio ambiente e lidem com o sistema de cultivo não de uma forma isolada no meio ambiente, mas sim como um componente importante e participativo na dinâmica do ecossistema. Um sistema de cultivo somente será um agente de poluição se o manejo de suas estruturas e gerenciamento dos elos, que integram este sistema, permitirem alterações e danos à qualidade de água. Desta forma, os cercados representam uma alternativa que poderá efetivamente se tornar adequada à realidade de uma sociedade sustentável e da carcinicultura brasileira.



## 5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem entendida com uma estratégia de ensino-aprendizagem para a educação ambiental faz com que pesquisadores transformem problemas da realidade em modelos matemáticos através da investigação, ação e validação. A conexão da modelagem e da educação ambiental pode ser considerada como um instrumento para a compreensão e possível modificação da realidade. Assim, espera-se que o envolvimento das duas contribua para a formação de produtores, alunos e pesquisadores, como críticos, que executem suas ações com base em uma visão sistêmica. Os resultados deste trabalho podem ser inseridos dentro dos processos da educação ambiental através do esclarecimento das interações que promovem o funcionamento dos sistemas de cultivo, disponibilizando um material didático multidisciplinar e resgatando, assim, a necessidade da elaboração de trabalhos que integrem as variáveis de um sistema.

Neste estudo a utilização de modelagem baseada no fluxo do nitrogênio foi desenvolvida para identificar os processos dominantes e avaliar o efeito das práticas de manejo, que afetam os camarões e a qualidade de água. O estudo demonstra as interações ambientais que podem ocorrer, e dependendo da densidade da estocagem e da taxa de renovação, podem afetar de forma positiva ou negativa a qualidade de água do cultivo, podendo comprometer tanto o ecossistema adjacente como a sustentabilidade do próprio cultivo. Assim, uma análise baseada no nitrogênio fornece um entendimento melhor de como os sistemas semi-intensivos de cultivo se comportam diante das interações do meio ambiente aquático e como podem gerar um impacto sobre este. Assim, através deste trabalho podemos observar que os modelos podem ser aplicados para avaliar as condições de operação dos cultivos, através dos fluxos de nutrientes no sistema.

Observou-se, através dos cenários gerados e obtidos, que os cercados gerenciados de uma forma sustentável, não interfeririam na qualidade de água e na viabilidade do cultivo, permitindo o estuário de assimilar e reciclar os despejos de matéria orgânica e inorgânica. Beveridge, Phillips; Macintosh, 1997 já destacavam que há um aumento consciente e progressivo que os sistemas de aquicultura dependem da integridade dos ecossistemas e têm limites, principalmente quanto a assimilação dos produtos e sub-produtos de um sistema de cultivo.

O presente estudo serve de referência para um processo de reflexão, bem como um esclarecedor dos possíveis impactos que a prática da aquicultura poderia causar na ausência de práticas de manejo que respeitem o corpo d'água adjacente ao sistema de cultivo.

No futuro espera-se demonstrar que a implementação dos sistemas do cultivo, que premedita práticas de sustentabilidade, não só promova e conserve as atividades de cultivo em longo prazo, mas sirva de suporte para o manejo integrado da zona costeira, como subsídio para o aprimoramento do licenciamento ambiental, no sentido de prevenir e compensar danos ambientais que esta atividade sócio-econômica possa produzir, e também proporcionar uma renda adicional a comunidades envolvidas no processo de cultivo. Destaca-se, assim, a importância da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a preservação da qualidade de água do estuário e de seu equilíbrio ecológico.

## 6.0 SUGESTÕES

Os resultados obtidos demonstram ser possível a inserção dos cultivos de camarões, de maneira ecologicamente correta na enseada do Saco da Mangueira, no entanto, mais estudos devem ser realizados no sentido de avaliar de forma numérica e precisa a capacidade de suporte

deste corpo d'água, principalmente no que se refere à quantidade de compostos nitrogenados que o mesmo pode assimilar e reciclar.

Com relação à legislação, verifica-se a necessidade de mais estudos que forneçam subsídios para o aprimoramento destas leis que delimitem áreas propícias para a prática desta atividade no ELP, visando um cuidadoso planejamento e mitigando a ocorrência de possíveis impactos ambientais gerados pelos sistemas de cultivo.

Cabe ressaltar a importância de implementação dos cultivos de camarões, na região, associada com a retirada das fontes *in natura* de esgoto lançadas em enseadas no ELP, uma vez que estas representam uma entrada massiva de nutrientes no sistema.

Estudos futuros ainda são necessários para dar subsídios à criação de camarões no ambiente, considerando a contribuição de fluxos naturais de nitrogênio para produção, a incorporação do manejo do nitrogênio (alimentação) e a dinâmica do fitoplâncton através da assimilação dos compostos nitrogenados. Desta forma, é importante desenvolver manejos adequados para os cultivos, que atente não apenas para as atividades cotidianas relacionadas com o processo produtivo (administração da ração e manutenção das estruturas), mas também para as características ambientais da região onde o cultivo será realizado.

Através de novos trabalhos, voltados para o desenvolvimento de tecnologias a serem utilizadas na aquicultura no intuito de minimizar possíveis impactos gerados por cultivos em cercados no ELP, e por meio de produções bem estruturadas podem surgir alternativas para a solução de muitos problemas. Técnicas apuradas tomarão o lugar de técnicas depredatórias, os danos ao ambiente poderão ser minimizados e cultivos aquícolas colaborarão com a diminuição do estado de pobreza das comunidades costeiras.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ACKEFORS, H.; ENELL, M. The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. *Journal Applied Ichthyology*, Berlin, v.10, n.4, p.225-241. 1994.
- ALMEIDA, S. *Análise preliminar do impacto do cultivo do camarão Farfantepenaeus paulensis em cercados no estuário da Lagoa dos Patos sobre a qualidade de água*. 2002. 21p. Monografia (Conclusão de Curso de Oceanologia) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- ASSAD, Luís Tadeu; BURSZTYN, Marcel. Aquíicultura Sustentável. In: VALENTI, Wagner Cotroni (Ed.). *Aquíicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável*. Brasília: CNPq/Ministério da Ciência e Tecnologia, 2000. p.33-72.
- BARBIERI, R.C.; OSTRENSKY, A. *Camarões Marinhos*: Engorda. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002. v.2. 320p.
- BARG, U.; PHILLIPS, M.J. Environment and Sustainability. In: Review of the State of World Aquaculture. *FAO Fisheries Circular*, Rome, n.886, rev.1. Rome, FAO. 1997. 163p.
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; NIENCHESKI, L.F. O estuário da Laguna dos Patos: variações de alguns parâmetros físico químicos da água e metais associados ao material em suspensão. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.42, n.5-6, p.390-396. 1990.
- BAUMGARTEN, M.G.Z.; POZZA, S.A. *Qualidade de Águas - Descrição de Parâmetros Químicos Referidos na Legislação Ambiental*. Rio Grande: Ed. FURG, 2001. 166p.
- BERTALANFFY, L. von *Teoria Geral dos Sistemas*. Rio de Janeiro: Vozes, 1968.
- BEVERIDGE, M.C.M.; PHILLIPS, M.J.; MACINTOSH, D.J. Aquaculture and the environment: the supply of and demand for environmental good and services by Asian aquaculture and the implications for sustainability. *Aquaculture Research*, London, v.28, n.10, p.797-807. oct. 1997.

- BOYD, C. *Water quality in ponds for aquaculture*. Auburn: Birmingham Publishing, 1990. 482p.
- BRUNE, D.; TOMASSO, J. *Aquaculture and water quality*. Advances in world aquaculture. The World Aquaculture Society, Louisiana State University, Baton Rouge, L.A, 1991. v.3.
- CAPRA, F. *A Teia da Vida – uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. Trad. Newton Roberval Eichenberg. São Paulo: Cultrix, 1996.
- CARNEIRO, T.G.S. *Uma arquitetura para modelagem ambiental empírica e baseada nas teorias dos autômatos celulares, híbridos e situados*. 2004. 52p. Tese de doutorado (Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- CARROLL, M.L.; COCHRANE, S.; FIELER, R.; VELVIN, R.; WHITE, P. Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture*, Amsterdam, v.226, p.165-180. oct. 2003.
- CLARK, J.R. 1996. *Coastal zone management: handbook*. New York: Lewis Publishers, 1996. 694p.
- COCKCROFT, A.C.; McLACHLAN. Nitrogen regeneration by the surf zone penaeid prawn *Macropetasma africanus*. *Marine Biology*, Vancouver, v.96, p.343-348. nov. 1987.
- CONWAY, G.R. The properties of agro ecosystems. *Agricultural Systems*, Vancouver, v.24, n.2, p.95-117. nov. 1987.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2006.
- COPERTINO, M.S.; TORMENA, T.; LANARI, M.O. 2006. Biofiltração, captação e assimilação de nutrientes por *Ulva clathrata* cultivada em água de efluente da carcinicultura. In: Aquaciência 2006, Bento Gonçalves. Livro de resumos p 1-1.
- CURTIS, H. *Biologia*. 4. ed. México D.F.: Ed. Médica Panamericana S.A., 1985. 1255p.
- D'INCAO, F.; BUCKUP, L.; BOND, G. *Subordem Dendrobranchiata (Camarões Marinhos)*. Os crustáceos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Buckup, 1999. p.275-299.
- DOMINGUES, J.A. *Cultivo do Camarão Rosa Farfantepenaeus paulensis (Decapoda, Penaeidae) em gaiolas utilizando como alimentos ração e resíduos de pescado preservados em sal*. 2000. 34p. Monografia (Conclusão de Curso de Oceanologia) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- FAO. The state of world fisheries and aquaculture 1998. Rome, FAO. 1999. Disponível em: <[http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/w9900e/w9900e00.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/w9900e/w9900e00.htm)>. Acesso em: 13 jul. 2005.
- FAO. The state of world fisheries and aquaculture – fisheries resources: trends in production, utilization and trade. Rome, FAO. 2002. Disponível em: <[http://www.fao.org/docrep/005/y7300/y7300e04htm#P3\\_47](http://www.fao.org/docrep/005/y7300/y7300e04htm#P3_47)>. Acesso em: 13 jul. 2005.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE (FEEMA). Dispõe sobre a diretriz para realização de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Diretriz 0041-R.13, de 28 de agosto de 1997. Disponível em: <<http://www.feema.rj.gov.br/legislacao/DZ0041R13.html>>. Acesso em: 13 jul. 2005.
- FUNGE-SMITH, S.J.; BRIGGS, M.R.P. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability. *Aquaculture*, Amsterdam, v.164, p.117-133. may. 1998.
- FURTADO, O. *Um estudo com professores da rede pública de ensino, sobre a utilização da modelagem computacional semiquantitativa em tópicos do currículo escolar, para a construção*

- de uma proposta de educação ambiental*. 2003. 250p. Dissertação (Mestrado Educação Ambiental) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- GOMEZ-GALINDO, C. *A nitrogen-based assessment of aquaculture: Shrimp farming in northwest Mexico*. 2000. 166p. *PhD Thesis* - University of British, Columbia, Canadá.
- HANDY, R.D.; POXTON, M.G. Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Rev. Fish Biol. Fish.* v.3 p.205-241. 1993.
- HARGREAVES, J.A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, Amsterdam, v.166, p.181-212. jul. 1998.
- HODGKISS, I.J.; HO, K.C. Are changes in N:P ratios in costal waters the key to increased red tide blooms? *Hydrobiologia*, The Netherlands, v.352, p.141-147. 1997.
- HODGSON, A.M. *Hexagons for Systems Thinking*. In: Morecroft, J.D.W. & Sterman, J.D. (Eds.). *Modeling for Learning Organizations*. Portland, Oregon: Productivity Press, 1994. p.359-374.
- KENNISH, M.J. *Ecology of Estuaries: anthropogenic effects*. Boca Raton: CRC Press LLC, 1992. 512p.
- KURTZ DOS SANTOS, A.C. *Introdução à modelagem computacional na educação*. Rio Grande: Ed. da FURG, 1995.
- KURTZ DOS SANTOS, A.C.; THIELE, M.R.; KLEER, A.A. Students modelling environmental issues. *Journal of Computer Assisted Learning*, United Kingdom, v.13, n.1, p.35-47. mar. 1997.
- KURTZ DOS SANTOS, A.C.; CHO, Y.; ARAUJO, I.S.; GONÇALVES, G.P. *Modelagem Computacional utilizando Stella: considerações teóricas e aplicações em gerenciamento, física e ecologia de sistemas*. Rio Grande: Ed. da FURG, 2002.
- LACERDA, L.D.; VAISMAN, A.G.; MAIA, L.P.; SILVA, C.A.R.; CUNHA, E.M.S. Relative importance of nitrogen and phosphorus emissions from shrimp farming and other anthropogenic sources for six estuaries along the NE Brazilian coast. *Aquaculture*, Amsterdam, v.253, n.1-4, p.433-446. 2006.
- LEE, D.O'C.; WICKINS, J.F. *Crustacean farming*. Oxford: Halsted Press, 1992.
- LORENZEN, K.; STRUVE, J.; COWAN, V.J. Impact of farming intensity and water management on nitrogen dynamics in intensive pond culture: a mathematical model applied to Thai commercial shrimp farms. *Aquaculture Research*, London, v.28, n.7, p.493-507. jul. 1997.
- LORENZEN, K. Nitrogen recovery from shrimp pond effluent: dissolved nitrogen removal has greater overall potential than particulate nitrogen removal, but requires higher rates of water exchange than presently used. *Aquaculture Research*, London, v.30, n.11-12, p.923-927. nov. 1999.
- MARCHIORI, M.A. *Guia ilustrado de maturação e larvicultura do camarão-rosa *Penaeus paulensis* Pérez-Farfante*. Rio Grande: Ed. da FURG, 1996. p.79.
- MARCHIORI, M.A.; DOLCI, D.B.; ALVES, T. Observations of some ecological parameters to asses the suitability to aquaculture of an estuarine inlet in the Patos Lagoon, Rio Grande, Brazil. In: Simpósio Internacional sobre utilização de ecossistemas costeiros: planejamento, poluição e produtividade, Rio Grande. *Anais*. 1982. p.70.
- McKINDSEY, C.W.; THETMEYER, H.; LANDRY, T.; SILVERT, W. Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture*, Amsterdam, v.261, n.2, p.451-462. 2006.
- MIRANDA, K.C. *Efeito da amônia na sobrevivência e crescimento de juvenis de camarão rosa *Penaeus paulensis* Pérez-Farfante, 1967 (Crustácea-Decápoda)*. 1997. 122p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

- MÖLLER, O.O.Jr.; CASTAING, P.; SALOMON, J.C.; LAZURE, P. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. *Estuaries*, Mississippi, v.24 n.2, p.297-311. abril. 2001.
- NEELLAMKAVIL, F. *Computer Simulation and Modeling*. New York: Jon Wiley & Sons, 1987. In: KURTZ DOS SANTOS, A.C. *Introdução a Modelagem Computacional na Educação*. Rio Grande: Ed. da FURG, 1995.
- NIENCHESKI, L.F.; BAUMGARTEN, M.G.Z. Distribution of particulate trace metal in the southern part of the Patos Lagoon estuary. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, Burlington, v.3, n.4, p.515-520. dez. 2000.
- NIENCHESKI, L.F.H.; WINDOM, H.L. Nutrient Flux And Budget In Patos Lagoon Estuary. *The Science of the Total Environment*, Elsevier, v.149, n.1-2, p.53-60. 1994.
- NIENCHESKI, L.F.; WINDOM, H.L.; SMITH, R. Distribution of particulate trace metal in Patos Lagoon estuary (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, New York, v.28, n.2, p.96-102. feb. 1994.
- ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1983.
- OLIVERA, A.; BELTRAME, E.; ANDREATTA, E.; SILVA, A.; WIBKLER DAS COSTA, S.; WESTPHAL, S. Crescimento do “camarão rosa” *Penaeus paulensis* no repovoamento da Lagoa de Ibiraquera, Santa Catarina-Brasil. In: IV Simpósio Brasileiro sobre cultivo de camarão, João Pessoa. *Anais*. João Pessoa: MCR Aquacultura, 1993. p.439-451.
- PAQUOTTE, P.; CHIM, L.; MARTIN, J.-L.M.; LEMOS, E.; STERN, M.; TOSTA, G. Intensive culture of shrimp *Penaeus vannamei* in floating cages: Zootechnical, Economic and Environmental aspects. *Aquaculture*, Amsterdam, v.164, p.151-166. may. 1998.
- PEREIRA, A.F. (1997) *Simulação numérica da circulação do Saco da Mangueira, Estuário da Lagoa dos Patos, utilizando o método de elementos finitos*. 1997. 51p. Monografia (Conclusão de Curso de Oceanologia) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- POERSCH, L.; WASIELESKY, W.J.; CAVALLI, R.O. & CASTELLO, J. Culture of *Farfantepenaeus paulensis* in pen enclosures: impact on the surrounding benthic community. In: World Aquaculture Society, Salvador. *Anais*. Salvador: Press Color, 2003. p.586.
- POERSCH, L. *Aquacultura no estuário da Lagoa dos Patos e sua influência sobre o meio ambiente aquático*. 2004. 147p. Dissertação (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- REIGOTA, M. *O que é Educação Ambiental*. São Paulo: Brasiliense, 1994.
- RICHMOND, B.; PETERSON, S.; VESCUSO, P. *An Academic User's Guide to STELLA™*. High performance systems, Lyme, NH, 1987.
- RILEY, D. Learning About Systems by Making Models. *Computers & Education*, v.15, n.1, p.255-263. 1990.
- RODRIGUES, J. Plataforma tecnológica do camarão marinho cultivado. ABCC/CNPq/MAPA. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. 2001. 276p.
- RUSSO, D.H.S; KURTZ DOS SANTOS, A.C. A Modelagem Semiquantitativa para a Educação Ambiental: alguns resultados de um estudo com alunos do Ensino Fundamental. 2001. Disponível em: <<http://www.fisica.furg.br/profcomp/artigos/dular.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2006.
- RYTHER, J.H.; DUSTAN, W.M. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, v.171, p.1008-1013. 1971.
- SANDIFER, P.A. et. al. Preliminary comparisons of native *Penaeus setiferus* and Pacific *Penaeus vannamei* white shrimp for pond cultures in South Carolina, USA. *Journal of the World Aquaculture Society*, Holanda, v.24, p.285-303. 1993.

- SANTOS, A.S.R. A importância da Educação Ambiental. *Jornal A Tribuna*, Santos, 31 maio 1999.
- SHELL, E.W. Husbandry of animals on land and in water: similarities and differences. *Journal of Animal Science*, v.69, p.4176-4182. oct. 1991.
- SKOVSMOSE, O. Mathematics as Part of Technology. Elements of a philosophy of an Applied Oriented Mathematical Education. *Educations Studies in Mathematics*, v.19, p.23-41. 1988.
- SMYTH, C.S. "A representational framework for geographic modeling". 1998. In: *Spatial and temporal reasoning in geographic information systems*. Max J. Egenhofer e Reginald G. Golledge, (eds.). New York: Oxford University Press, 1991. 213p.
- STEWART, J.E. Environmental impacts of aquaculture. *World Aquaculture*, p.45-52. mar. 1997.
- TAGLIANI, P.R.A.; LANDAZURI, H.; REIS, E.G.; TAGLIANI, C.R.A.; ASMUS, M.; ARCILLA, A.S. Integrated coastal zone management in the Patos Lagoon estuary; Perspectives in context of developing countries. *Ocean and Coastal Management*, v.46, n.9-19, p.807-822. 2003.
- TALBOT, C.; HOLE, R. Fish diets and the control of eutrophication resulting from aquaculture. *Journal Applied Ichthyology*, Berlin, v.10, p.258-270. 1994.
- TOMASSO, J.R. Toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals. *Reviews in Fisheries Science*, v.2, n.4, p.291-314. 1994.
- VELASCO, M.; LAWRENCE, A.L.; NEILL, W.H. Development of a static-water ecoassay with microcosm tanks for post larval *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, Amsterdam, v.161, p.79-87. feb. 1998.
- VELDKAMP, A.; LAMBIN, E.F. Predicting land-use Change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.85, p.1-6. jun. 2001.
- VON SPERLING, M. Introdução a Qualidade das Águas e Tratamento de Esgoto. Belo Horizonte: UFMG, 1996.
- WASIELESKY, W.J. *Cultivo de Juvenis do Camarão Rosa Farfantepenaeus paulensis (Decapoda-Penaeidae) no Estuário da Lagoa dos Patos: efeitos dos parâmetros ambientais*. 2000. 199p. Dissertação (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- WASIELESKY, W.J.; POERSCH, L.H.; BIANCHINI, A. Comparação entre a sobrevivência e o crescimento do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* cultivado em gaiolas e cercados. *Nauplius*, Botucatu, v.7, p.173-177. 1999.
- WCED (World Commission for Environment and Development). *Our common future*. New York, Oxford: Oxford University Press, 1987.