

# MODELAGEM COMPUTACIONAL & DINÂMICA DE SISTEMAS: FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE ECOSSISTEMA MANGUEZAL

Mara Hombre Mulinari<sup>1</sup>  
Péricles Góes<sup>2</sup>  
Laércio Ferracioli<sup>3</sup>

Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva  
Departamento de Física  
Universidade Federal do Espírito Santo  
29.060-900 Vitória/ES  
mara@modelab.ufes.br<sup>1</sup>; pericles.goes@gmail.com<sup>2</sup>; l.ferracioli@modelab.ufes.br<sup>3</sup>

## Resumo

Os ecossistemas manguezais são extremamente importantes tanto para as espécies que dele dependem, direta ou indiretamente, quanto para as comunidades circunvizinhas que o exploram comercialmente principalmente através da cata do caranguejo-do-mangue. Entretanto, a falta de estudos e divulgação de informações sobre o evento da dinâmica de populações de espécies relacionadas a este ecossistema, considerando as relações vitais dos ciclos biológicos e das trocas energéticas entres as espécies que compõe o manguezal tem contribuído para a ampla destruição deste ecossistema. Assim, este trabalho tem por objetivo desenvolver um estudo baseado na aplicação de modelos e da modelagem computacional como estratégia de análise da dinâmica populacional da espécie *Ucides cordatus* que apresenta grande importância para manguezal. O trabalho foi desenvolvido a partir da utilização do ambiente de modelagem computacional STELLA e aplicação dos *Passos de Construção de Modelos* proposto por Camiletti (2001). Como resultado, foi construído o modelo *Dinâmica Populacional do Ucides cordatus no Manguezal da Baía de Vitória, ES* o qual a partir de sua simulação viabilizou a análise do evento em estudo e a elaboração de propostas para o uso deste modelo como ferramenta de análise deste ecossistema através desenvolvimento de futuros trabalhos.

**Palavras-chave:** Ecossistema Manguezal, Dinâmica Populacional, *Ucides cordatus*, Modelagem Computacional.

## 1. INTRODUÇÃO

O manguezal por ser um ecossistema de extrema relevância, não somente para as espécies que tem seu ciclo biológico completo neste ambiente, como o caranguejo-do-mangue (*Ucides cordatus*), mas também para demais espécies que apresentam alguma relação com este ecossistema, tais como alguns peixes que têm seu desenvolvimento inicial no manguezal devido à disponibilidade abundante de alimentos e proteção e, posteriormente, podem vir a serem exploradas economicamente, principalmente pelo setor pesqueiro (Odum, 2004). Além disso, diversas comunidades circunvizinhas à este ambiente, vêem no manguezal sua principal fonte de alimento e renda, tal como ocorre no manguezal da Baía de Vitória/ES a qual apresenta atualmente cerca de 250 catadores que tem como principal fonte de renda a captura comercial do *U. cordatus*.

Contudo, a falta de estudos e divulgação de informações sobre o evento da dinâmica de populações de espécies relacionadas ao manguezal, considerando as relações vitais dos ciclos

biológicos e das trocas energéticas entre as espécies que com ele se relacionam tem contribuído para a ampla destruição deste ecossistema.

Neste contexto, o manguezal da Baía de Vitória, ES, assim como os demais manguezais do Estado do Espírito Santo têm sido objeto de preocupação desde o início do desenvolvimento da urbanização em seu entorno, ocasionada pela expansão industrial ocasionada principalmente pela chegada da indústria de minério de ferro na década de 60 e de petróleo & gás na década de 70 que atualmente estão em pleno processo de expansão nesta região (Mulinari et al, 2005).

Sendo assim, o Modelab que desde de 1996 vem investigando a utilização da modelagem computacional no contexto da Educação em Ciências e Tecnologia (Mulinari et al, 2005) para o desenvolvimento de metodologia baseada no princípio da dinâmica de sistemas (Forrester, 1968) considerando características importantes ao trabalhar-se com este conceito, tais como avaliação de riscos, desenvolvimento de estratégias, tomada de decisões e planejamento de cenários reais, a partir de 2005, uma parceria com o biólogo Péricles Góes, que desde de 1998 desenvolve pesquisas nos manguezais do ES, possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Nesta perspectiva, o foco inicial desta iniciativa foi o desenvolvimento do modelo representativo da Dinâmica Populacional do manguezal da Baía de Vitória no Ambiente de Modelagem Computacional STELLA que devido ao significativo volume de dados disponíveis sobre este ecossistema foi possível desenvolver a análise de possíveis cenários a partir de informações reais.

## 2. METODOLOGIA

O modelo da *Dinâmica Populacional de U. cordatus no Manguezal da Baía de Vitória, ES* foi desenvolvido no Ambiente de Modelagem Computacional STELLA, apresentado na subseção 2.1.1, e utilizando os *Passos de Construção de Modelos* proposto por Camiletti (2001) que serão discutidos na subseção 2.1.2.







### 2.1.1 O AMBIENTE DE MODELAGEM QUANTITATIVA STELLA

O Ambiente de Modelagem Computacional STELLA, acrônimo de *Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation* cuja tradução em português é **Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação baseado no Pensamento Sistêmico** (e.g. Ferracioli & Camiletti, 1998; Camiletti & Ferracioli, 2001; Rampinelli et al, 2003; Rampinelli & Ferracioli, 2004, 2006; Gonçalves, 2004; Campostrini et al, 2005) é um software que permite a construção de modelos através da conexão de ícones que traduzem a evolução temporal dos fenômenos em estudo.

Neste ambiente de modelagem computacional o usuário não necessita trabalhar diretamente com equações matemáticas, mas estabelecer relações causais entre as variáveis consideradas relevantes para o estudo do sistema ou fenômeno de interesse, uma vez que o sistema converte essas relações em linhas de programa. Além disso, o ambiente STELLA permite a geração tanto de saídas gráficas que mostram a evolução temporal de quaisquer variáveis do modelo desenvolvido quanto de tabelas que traduzem numericamente essas variações (Camiletti & Ferracioli, 2001; Kurts, 2002).

A linguagem utilizada para construir os modelos no STELLA utiliza metáforas, tais como *tanques, válvulas, conversores e conectores*, conforme descritos no Quadro 01.

**Quadro 01: Ícones Básicos de Construção de Modelos do STELLA**

Ícone	Descrição
	<b>Nível:</b> representa uma variável que pode ser alterada ao longo do tempo por uma variável do tipo <i>taxa</i> .
	<b>Taxa:</b> representa uma variável que promoverá a mudança da variável tipo <i>Nível</i> ao longo do tempo. Pode ser Unidirecional ou Bidirecional.
	<b>Conversor:</b> representa o mecanismo para estabelecer constantes, definir entradas externas para o modelo e realizar cálculos algébricos.
	<b>Conector:</b> representa uma relação de causa-efeito entre variáveis, expressando uma dependência entre elas.
	<b>Plataforma de Gráficos:</b> é usada para traçar o gráfico de uma ou mais variáveis de um modelo em simulação.
	<b>Plataforma de Tabelas:</b> é usada para visualizar a saída numérica de uma ou mais variáveis de um modelo em simulação.

A seguir será apresentado o procedimento utilizado na construção do modelo da Dinâmica Populacional do *Ucides cordatus* no Manguezal da Baía de Vitória, ES.

### 2.1.2 OS PASSOS DE CONSTRUÇÃO DO MODELO

Para construção do modelo referente a este trabalho foram utilizados os **Passos de Construção de Modelos** proposto por Camiletti (2001) e que vem sendo utilizado como metodologia no ModeLab (e.g. Mulinari et al, 2005b):

**1º Passo – Definição do Sistema a ser Estudado**

**2º Passo – Escolha do Fenômeno de Interesse a ser Estudado no Sistema Escolhido**

**3º Passo – Listagem das Variáveis Relevantes para a Construção do Modelo**

**4º Passo – Construção do Modelo Através de Diagrama Causal**

**5º Passo – Tradução das Variáveis para Linguagem do Diagrama de Fluxo**

**6º Passo – Representação do Modelo no STELLA**

**7º Passo – Simulação do Modelo**

**8º Passo – Validação do Modelo a partir do Comportamento em Relação ao Comportamento Esperado do Fenômeno em Estudo**

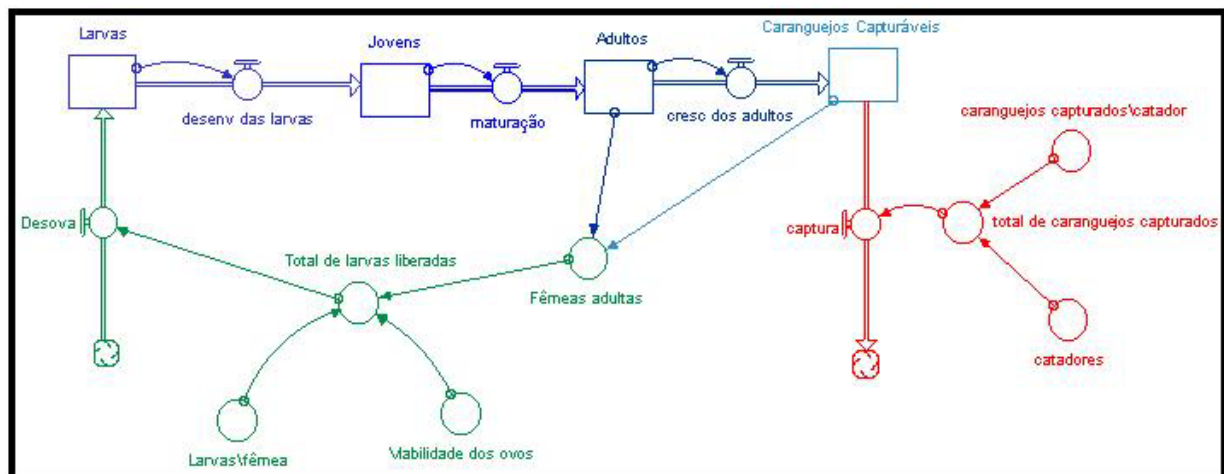
A seguir, na seção 3, são apresentados os resultados e discussão sobre a aplicação destes *Passos de Construção de Modelos* para o estudo da Dinâmica Populacional do *Ucides cordatus* no Manguezal da Baía de Vitória/ES.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo da *Dinâmica Populacional do Ucides cordatus no Manguezal da Baía de Vitória/ES* desenvolvido neste trabalho e mostrado na Figura 01, foi construído a partir do estudo da dinâmica da população desta espécie de crustáceo baseando-se na seguinte premissa:

“Anualmente, após cada período reprodutivo, a população é reforçada pelo recrutamento de novas larvas resultantes do processo de desova. A maior parte dessas larvas irá morrer devido a fatores ecológicos naturais, tais como, predação e morte natural. Somente uma pequena parcela irá se desenvolver passando várias vezes pelo processo de muda ou ecdise até atingir, então, o estágio juvenil, quando o tamanho de sua carapaça atinge uma medida entre 1,5 e 4,5 cm aproximadamente (Góes, 2003). Após este período os caranguejos jovens passam por novas mudas e maturação, atingindo assim a maturidade sexual. Ao tornarem-se adultos, os caranguejos estarão aptos à reprodução possibilitando novas desovas e conseqüente reposição dos estoques de caranguejos no manguezal”. (Mulinari, 2006; p. xx)

Neste estudo foi considerado ainda um fator relevante que age principalmente sobre o estoque de caranguejos adultos com tamanhos de carapaça superior a 6,0 cm: **a cata do caranguejo para fins comerciais** que é realizada principalmente por catadores da região metropolitana da Grande Vitória. Este fator encontra-se representado no modelo, apresentado na Figura 01, em vermelho.



**Figura 01:** Modelo da Dinâmica Populacional de *U. cordatus* no Manguezal da Baía de Vitória, ES desenvolvido no ambiente de modelagem computacional STELLA

No contexto da dinâmica populacional descrito por Odum (1983), as variáveis representadas em vermelho correspondem a *mortalidade* da população, em azul encontram-se representadas as variáveis que caracterizam o desenvolvimento da população e seus distintos *estágios do desenvolvimento* e em verde encontra-se representada a *natalidade*, os quais são fatores relevantes para o estudo de dinâmica de populações.

Após a construção do modelo no ambiente STELLA, foi realizada a simulação a partir da base de dados de Góes (2003) que viabilizou a definição dos estoques iniciais de caranguejos em cada uma das etapas do desenvolvimento e a determinação da proporção entre machos e fêmeas na área de estudo.

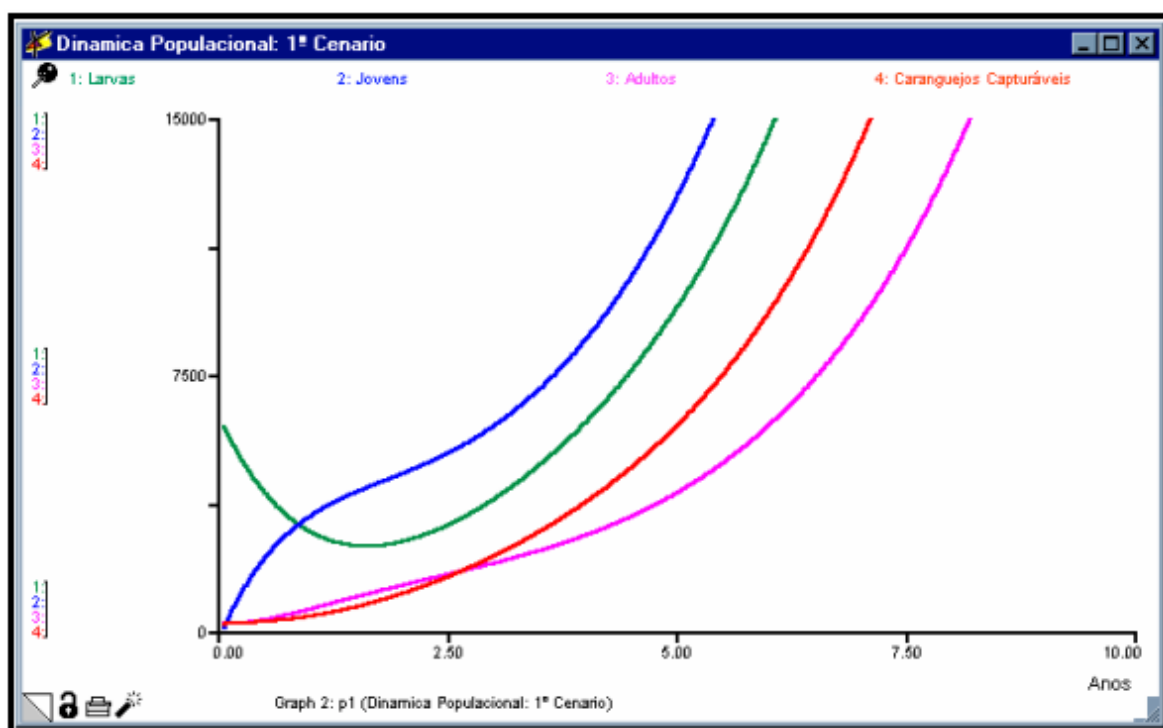
Nesta perspectiva, a simulação foi realizada a partir da consideração de dois cenários distintos:

- **Primeiro Cenário** onde avalia-se a dinâmica populacional de *U. cordatus* na área de estudo (Góes, 2003) sem considerar a ação antrópica caracterizada pela cata do caranguejo;
- **Segundo Cenário** considerada a ocorrência de captura na área de estudo, sendo a captura representada pela ação de apenas 1 catador, visto que esta área é de apenas 80 m<sup>2</sup> sendo muito pequena em relação a extensão total do manguezal da Baía de Vitória que é de 18 K m<sup>2</sup>.

## Resultados do Primeiro Cenário

Os resultados da simulação do *primeiro cenário* revelam que, em relação as demais variáveis, a quantidade de larvas foi inicialmente alta, conforme representado pela curva verde da Figura 02. Este resultado pode ser explicado pelo fato das condições iniciais do modelo terem sido definidas no instante logo após a ocorrência da desova.

Com a evolução temporal, observa-se que ocorre uma diminuição desse número de larvas devido a um aumento da população de caranguejos jovens, em azul, indicando assim a ocorrência do crescimento das larvas e sua conseqüente transformação em caranguejos juvenis. O aumento do número de indivíduos juvenis gera, também, um aumento na população de caranguejos adultos e capturáveis, representados pelas curvas, rosa e vermelho, respectivamente, mostrando as intrínsecas relações de causa-efeito existente entre estas distintas fases do desenvolvimento da população da espécie em estudo.



**Figura 02:** Resultado gráfico da simulação do Modelo Dinâmica Populacional do *U. cordatus* no Manguezal da Baía de Vitória, ES sem considerar a pressão de captura ocasionada pelos catadores

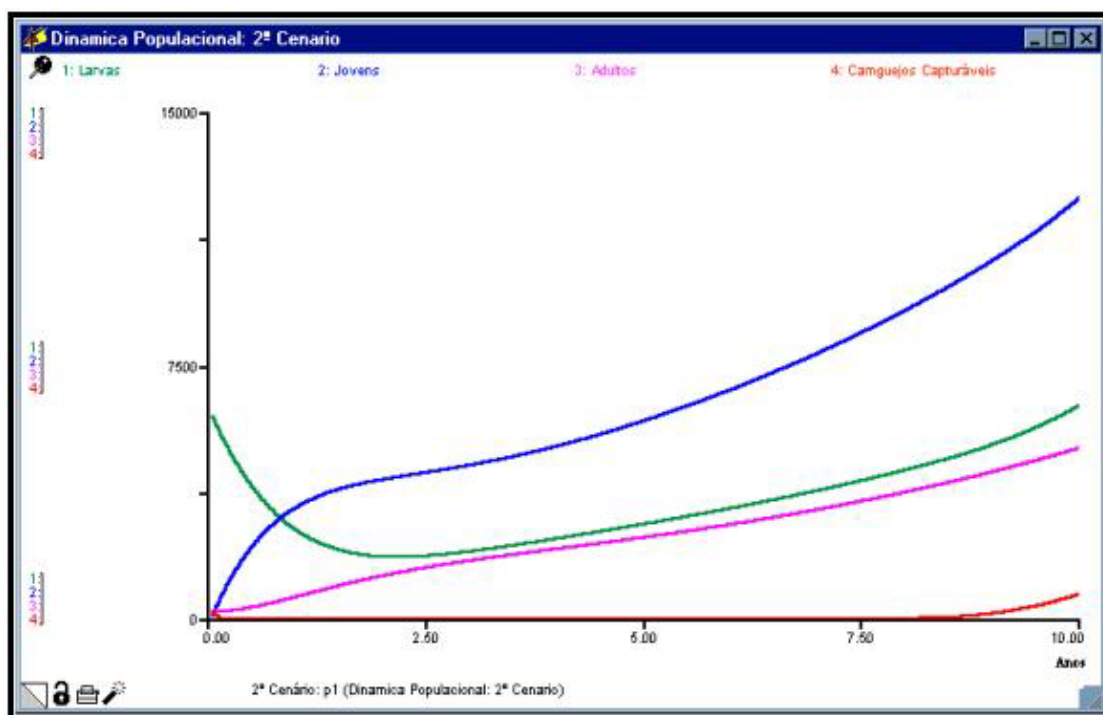
Neste *primeiro cenário*, observa-se ainda que passado o período de aproximadamente um ano, uma elevação na quantidade de larvas na área em estudo, a qual pode ser caracterizada por novos períodos reprodutivos que culminam desova das fêmeas adultas.

A partir dessa análise, pode-se inferir que o resultado da simulação do modelo neste primeiro cenário revelam um comportamento gráfico coerente com o esperado para esta população, visto que a inicial redução da população de larvas na área é revertida ao final de aproximadamente um ano: este fato seria justificado pelo contínuo crescimento do número de caranguejos jovens indicando, assim, a transformação das larvas em caranguejos jovens e consequente transformação em adultos, comportamento esse esperado no estudo da dinâmica de populações.

Essa análise corrobora com os resultados obtidos uma vez que o acentuado crescimento no número de larvas, após aproximadamente um ano, parece indicar a representação da ocorrência de novas desovas, as quais são anuais. Além desse fato, a Figura 02 revela que o contínuo aumento da população de jovens através do processo de maturação ocasiona um aumento na população de adulto e consequentemente de caranguejos capturáveis, ou seja, os caranguejos adultos com carapaça de tamanho superior a 6 cm.

## Resultados do Segundo Cenário

Na simulação do *segundo cenário*, além de considerar a ação antrópica caracterizada pela ocorrência de captura realizada por apenas um catador, visto que a área de estudo era de apenas 80 m<sup>2</sup> sendo, assim, pequena em relação a extensão total do manguezal da Baía de Vitória que é de aproximadamente 18 Km<sup>2</sup>. Considerou-se também que, semanalmente, o catador coleta nesta área cerca de 80 caranguejos capturáveis.



**Figura 03:** Resultado gráfico da simulação do Modelo Dinâmica Populacional do *U. cordatus* no Manguezal da Baía de Vitória, ES considerando a pressão de captura comercial

Nesta perspectiva, a Figura 03 apresenta os resultados dessa simulação onde é observado que a introdução da "cata" no manguezal causou, inicialmente, uma drástica redução no número de indivíduos aptos a captura durante o período de aproximadamente 8 anos na área em que Góes (2003) realizou o estudo. Além disso, apesar da tendência do crescente número de caranguejos adultos mostrada pela curva rosa, observa-se que a quantidade de caranguejos adultos que estavam transformando-se anualmente em capturáveis não eram suficientes para repor os estoques capturados pelo catador. Contudo, pode-se observar que, com o passar do tempo, este estoque foi sendo recuperado devido à contínua ocorrência de novas desovas.

Além dessa análise observa-se um crescimento menos acentuado na população de larvas presentes neste ecossistema em relação aos resultados da simulação do *primeiro cenário* e mostrados pela Figura 02. Assim, a partir do modelo desenvolvido, pode-se inferir que a cata do caranguejo pode influenciar de maneira preponderante na reposição das demais faixas etárias da população de caranguejos presente no manguezal.

Apesar dessa análise em relação ao comportamento gráfico gerado pelas simulações, é importante ressaltar as limitações do modelo construído. Nesta perspectiva, a adoção das características discutidas acima com relação aos comportamentos gráficos gerados pela simulação, não geram comportamentos completamente compatíveis com o comportamento esperado no estudo de *Dinâmica de Populações*. Ou seja, mesmo que os resultados gráficos gerados pelas simulações de ambos cenários sejam adequados no contexto análise apresentada frente o banco de dados disponível, os comportamentos gráficos para o evento Dinâmica de Populações devem apresentar comportamentos típicos para cada um dos *estágios de desenvolvimento*. Esses comportamentos são caracterizados por um contínuo crescimento tendendo a um valor de equilíbrio, oscilações constantes ou amortecidas, ou mesmo de crescimento para um valor que represente a capacidade máxima de suporte da população que estabelecesse um limite do crescimento da população frente a fatores ambientais tais como o esgotamento de recursos alimentares ou espaciais (Odum, 1983).

Entretanto, o contínuo e indefinido crescimento da população de *U. cordatus* obtido na simulação do modelo pode ser explicado pelo fato da não consideração de variáveis como os *Índices de mortalidade* em cada uma das etapas do desenvolvimento, as quais não foram representadas no modelo devido a não disponibilidade destas informações no banco de dados. Estas variáveis seriam relevantes para a representação do fenômeno em estudo uma vez que elas são representativas da característica *Mortalidade* a qual é fundamental no evento da *Dinâmica Populacional* (Odum, 1983).

Para viabilizar a melhoria do modelo *Dinâmica Populacional do Ucides cordatus nos Manguezal da Baía de Vitória, ES* sugere-se, então, a realização de coletas de dados em um maior período de tempo viabilizando a construção de séries de dados que contribuam para uma melhor definição das variáveis do modelo e permitam a reconstrução do mesmo incluindo as variáveis relevantes *Índice de mortalidade*.

Neste contexto, alcançado o objetivo de melhoria do modelo este poderá ser utilizado para gestão e análise do ecossistema em foco dentro desta perspectiva, através da análise de distintos cenários torna-se possível desenvolver estratégias de manejo, análises de risco e planejamento estratégico perante possíveis alterações sócio-ambientais, tal como, o número de catadores atuando no manguezal. Esse procedimento poderá auxiliar o estudo de como alterações desse tipo podem influenciar os estoques da população de caranguejos capturáveis presentes no manguezal ao longo do tempo.

### 3. CONCLUSÕES

O modelo da *Dinâmica Populacional do U. cordatus no Manguezal da Baía de Vitória/ES* desenvolvido no ambiente de modelagem STELLA apresentou resultados compatíveis com o esperado para o banco de dados disponível e apontou a intrínseca relação entre as diversas fases do desenvolvimento da população do *U. cordatus* e a captura comercial da espécie no ambiente em estudo, mostrando como a captura diminui drasticamente a população de caranguejos considerados capturáveis presentes na área de estudo. Além disso, o desenvolvimento deste trabalho apontou certas linhas de investigação a serem desenvolvidas para o melhor entendimento sobre a dinâmica populacional desta espécie.

O desenvolvimento deste trabalho também revela que a utilização da modelagem computacional no contexto da análise do ecossistemas parece ser uma proposta promissora, principalmente no âmbito da análise de distintos cenários para previsões de situações futuras. Entretanto a implementação deste ferramental não é trivial, uma vez que, para obter a validação final de um modelo para que este possa ser efetivamente utilizado como ferramenta de análise e gestão ambiental, faz-se necessário o delineamento de estudos mais efetivos tanto para coleta de dados em campo quanto para a utilização e desenvolvimento de modelos e ambientes de modelagem.

#### 4. AGRADECIMENTOS

Este estudo é parcialmente financiado pelo CNPq, CAPES e FACITEC – Conselho Municipal de Pesquisa em Ciência e Tecnologia de Vitória, ES – Brasil.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMILETTI, G. G. (2001) *A Modelagem Computacional Semiquantitativa no Estudo de Tópicos de Ciências: Um Estudo Exploratório com Estudantes Universitários*. Curso de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado em Pesquisa na Área de Ensino de Física.

CAMILETTI, G. & FERRACIOLI, L. (2001) A Utilização da Modelagem Computacional Quantitativa no Aprendizado Exploratório de Física. *Cadernos Catarinenses de Ensino de Física*, 18(2): 214-28.

CAMPOSTRINI, L.; MOTTA, R.; RAMPINELLI, M; FERRACIOLI, L. (2005). Desenvolvimento e Avaliação de um Módulo Educacional Sobre Termodinâmica Baseado na Modelagem Computacional Quantitativa. In: *Atas do XIV Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 2004, Rio de Janeiro. Anais do XIV Simpósio Nacional de Ensino de Física.

FERRACIOLI, L. & CAMILETTI, G. (1998) *Introdução ao Ambiente de Modelagem Computacional STELLA*. Série Modelos, 01/98. Publicação Interna do Modelab/UFES.

FORRESTER, J. (1968) *Principles of Systems*. Cambridge, MA: Wright-Allen Press.

GÓES, P. (2003) *Aspectos Bioecológicos do Caranguejo *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda, Brachyura, Ocypodidae) no Manguezal da Baía de Vitória, Serra, Espírito Santo*. Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado em Pesquisa na Área de Biologia Animal.

GONÇALVES, E. (2004) *Estudo da Modelagem Computacional Quantitativa Através da Análise de Estruturas Causais Básicas: Um Estudo Exploratório com Estudantes do Ensino Médio*. Curso de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado em Pesquisa na Área de Ensino de Física.

KURTS, A.C.S (2002), Modelciências: Características do Desenvolvimento de um Portal para o Projeto Modelagem Computacional Semiquantitativa na Educação em Ciências do Plano Sul de Pesquisa e Pós-Graduação do CNPq. *Anais do IV Seminário sobre Representações e Modelagem*

*no Processo de Ensino-Aprendizagem*. Vitória, ES, 30/10-01/11/2003, Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-Graduação em Física, Vitória: Mabor, 411p.

MULINARI, M. H. (2006) *A Utilização da Modelagem Computacional Como Estratégia de Análise de Ecossistemas Manguezais*. Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo. Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Biológicas do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo.

MULINARI, M. H.; GÓES, P.; FERRACIOLI. (2005a) Análise do Potencial de Risco em Ecossistemas Manguezais Através da Modelagem Computacional. *Anais do 1º Congresso Internacional PIATAM: Ambiente, Homem, Gás e Petróleo*. Manaus: Universidade Federal do Amazonas/ Centro de Pesquisa da Petrobrás, 2005, p. 161.

MULINARI, M. H.; RAMPINELLI, M.; FERRACIOLI, L. (2005b) System Dynamics & Science Education: A Curricular Innovation Experience. In: *23rd International Conference of the System Dynamics Society*, Boston. Proceedings of SDS Conference.

ODUM, E. P. (2004) *Fundamentos de Ecologia*. 7. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekuian.

ODUM, E. P. (1983) *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara S.A.

RAMPINELLI, M., FERRACIOLI, L. (2004) A Integração de um Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo no Estudo do Fenômeno de Colisões. In: *IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, 2004, Jaboticatubas, MG. Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.

RAMPINELLI, M. & FERRACIOLI, L. (2006). Estudo do Fenômeno Colisões Através da Modelagem Quantitativa. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, n.1, p. 93-122.

RAMPINELLI, M; MULINARI, M, H; SILVA, T. R. (2003) Integrating Technology in Science Education: A Study Based on System Thinking. *Workshop Research on Modelling in Science Education Implications for Curriculum and Educational Material Development*. Vitória, ES, 10/11/2003.