

# Simulação da dispersão de ovos e larvas da Garoupa-Verdadeira utilizando simulação baseada em agentes

Tiago F. Otero<sup>1</sup>, Diana F. Adamatti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciências Computacionais – Universidade Federal do Rio Grande (C3/FURG)  
Av. Itália, s/n km 08 – Rio Grande – RS – Brazil  
{tiagofotero, dianaada}@gmail.com

**Resumo.** *Este artigo apresenta um modelo de simulação baseado em agentes. Este modelo é biologicamente inspirado na dispersão das ovos e larvas da Garoupa-Verdadeira, uma espécie de peixe encontrada nas proximidades da cidade de Rio Grande, em meio ao ambiente oceânico. O foco de estudo é demonstrar como ocorre a dispersão das ovos e larvas da Garoupa-Verdadeira entre o Parcel do Carpinteiro e os Molhes da Barra, em Rio Grande/RS.*

## 1. Introdução

Ao longo da história, a observação do mundo natural permitiu que o ser humano pudesse criar muitas teorias sobre o comportamento das diversas partes que compõe este ambiente. Como exemplo, pode-se citar a lei da física de Newton, ou o modelo de órbita planetária de Kepler. Além da criação de teorias, produtos foram criados baseados em princípios observados na natureza e na biologia. O desenvolvimento e progresso da ciência da computação, da engenharia e das tecnologias em geral contribuiu significativamente para o estudo e entendimento do mundo natural [Castro e Timmis, 2002].

Segundo Castro e Timmis (2002), os conhecimentos nas áreas de engenharia e de computação são enriquecidos por meio da introdução de processos e funções baseados em modelos obtidos através da modelagem e simulação de ambientes naturais. Muitos problemas computacionais foram solucionados adotando-se soluções baseadas na biologia, por exemplo, os algoritmos neurais, autômatos celulares e a bioinformática. Segundo os autores estas soluções podem receber o nome de computação biologicamente motivada.

A garoupa-verdadeira (*Mycteroperca marginata*) é uma espécie de peixe de médio e grande porte encontrada em diversos locais da costa brasileira. Esta espécie é incomum em zonas rasas ao longo da costa gaúcha, provavelmente porque os fundos arenosos que predominam na região sul não são habitats propícios para a sua ocorrência. No entanto, os molhes da barra de Rio Grande constituem uma importante exceção por constituir um *habitat* adequado para que a garoupa exista. Este peixe apresenta hábitos territorialistas e sedentários, vivendo associado a fundos rochosos comuns em águas costeiras, especialmente em parcéis, recifes e costões rochosos. Além dos molhes da barra, existe um local próximo no qual há uma grande população de garoupas. Este local é o Parcel do Carpinteiro, que é um alto topográfico submerso situado na antepraia do

Rio Grande do Sul. Ele está localizado próximo a desembocadura da Laguna dos Patos a aproximadamente 40 quilômetros dos Molhes da Barra, na cidade de Rio Grande. Estudos sobre a conectividade populacional, a troca de indivíduos da mesma espécie entre unidades espaciais, revelam que a garoupa-verdadeira não se reproduz na região litorânea dos molhes da barra, mas sim na região do Parcel do Carpinteiro [Seyboth et al., 2011]. Pesquisas sugerem que a reprodução de garoupas não ocorre nos molhes da barra e, assim sendo, para que essa região seja habitada por esses peixes, ela depende da dispersão de indivíduos provenientes do Parcel do Carpinteiro [Condini, 2012]. Baseando-se nos hábitos dessa espécie, é pouco provável que as garoupas em fase adulta migrem entre as duas regiões. Por essa razão, sabe-se que as ovas e larvas da garoupa, através da dispersão da corrente oceânica, acabem por chegar aos molhes da barra.

Este artigo apresenta um estudo inicial sobre a dispersão das ovas e larvas da Garoupa-Verdadeira entre o Parcel do Carpinteiro e os molhes da barra do Rio Grande/RS, utilizando uma simulação baseada em agentes como ferramenta computacional para simular este fato. Simulações baseadas em agentes podem ser utilizadas para ilustrar uma situação que ocorra no mundo real. Tais simulações podem ser utilizadas para simples observação, como elementos no apoio a decisão em diversos problemas. Segundo Adamatti (2007), muitas aplicações em sistemas baseados em agentes são desenvolvidas com o objetivo de simular alguma situação da realidade, observando-se o fato real e utilizando-se como base uma teoria.

## 2. A Garoupa-Verdadeira

A Garoupa-Verdadeira (*Mycteroperca marginata*) é uma espécie marinha que possui uma larga distribuição geográfica, ocorrendo em diversos lugares distribuídos pelo mundo. Segundo Figueiredo e Menezes (1980), na porção ocidental do oceano atlântico, sua distribuição é restrita á costa sul da América do Sul, que se inicia no estado do Rio de Janeiro e vai até a Argentina. Esta espécie possui corpo robusto, podendo atingir um comprimento de 120 cm e um peso de 60 Kg. A Garoupa é uma espécie de hábitos sedentários e solitários, principalmente nos indivíduos maiores de 20 cm, os quais permanecem a maior parte do tempo em suas tocas, saindo apenas para alimentar-se [Condini, 2012]. Enquanto juvenis, menores que 20 cm, preferem áreas abertas, vagando a procura de alimento, podendo formar pequenos grupos de até três indivíduos. Seus hábitos alimentares são predominantemente carnívoros, sendo uma espécie predadora de crustáceos, peixes e moluscos [Condini, 2012].

Segundo Seyboth et al. (2011), o crescimento populacional da garoupa-verdadeira é baixo devido a sua estratégia complexa de reprodução ser hermafrodita protogínica monântrica, ou seja, todos os indivíduos nascem fêmeas e, a partir de um determinado tamanho (geralmente acima dos 52 cm), ou devido a pressão populacional, entre os 7 a 17 anos de idade, pode ocorrer a reversão sexual para macho [Bruslé e Bruslé, 1975].

De acordo com a União Internacional pela Conservação da Natureza (IUCN), a garoupa-verdadeira é considerada, atualmente, como uma espécie ameaçada de extinção. Segundo Fennessy (2006), os fatores que levam a esta espécie a esta condição são a sua

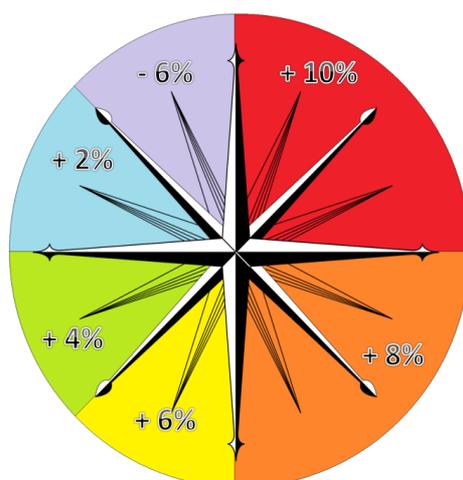
sobre-exploração facilitada pelos seus hábitos territorialistas e sedentários, seu baixo crescimento populacional, sua estratégia reprodutiva e, finalmente, sua maturação tardia.

A garoupa-verdadeira é incomum em zonas rasas ao longo da costa gaúcha, pois os fundos arenosos que predominam nessa região não são habitats propícios para a sua ocorrência [Condini, 2012]. No entanto, os molhes da barra de Rio Grande constituem uma importante exceção devido ao seu substrato rochoso constituir um habitat adequado para que a garoupa-verdadeira ocorra em abundância suficiente para permitir sua pesca regular. Mesmo que dados científicos precisos não estejam disponíveis, contagens históricas obtidas de pescadores locais sugerem que as garoupas veem sendo capturadas nesta localidade desde a década de 70 [Condini, 2012]. Os molhes da barra de Rio Grande são uma formação rochosa criada artificialmente na desembocadura da Lagoa dos Patos no início do século 20, que avança 4,5 Km no Oceano Atlântico. Seu principal propósito é de manter um canal de navegação e garantir um acesso marítimo regular ao porto internacional de Rio Grande.

### **3. Modelo Proposto**

O modelo proposto representa a dispersão destas partículas, ovas e larvas, em meio ao ambiente oceânico. O movimento realizado por estas partículas é influenciado por diversos fatores que simulam este ambiente oceânico, como a maré e o sentido e intensidade dos ventos. O modelo foi implementado utilizando o software NetLogo. São três os parâmetros que influenciam na dispersão: número de ovas, ângulo do vento e intensidade do vento, todos podem ser setados pelo usuário ao início da simulação. O primeiro varia entre 1 e 25000; o segundo entre 0 360; e o terceiro entre 0 e 120.

A cada *tick*, medida de iteração do Netlogo, diversos fatores influenciam as partículas (ovas e larvas da Garoupa-Verdadeira). Inicialmente, todas as partículas iniciaram seu movimento com seu sentido sendo igual a do ângulo do vento setado pelo usuário. Porém, com o desenvolvimento da simulação, outros fatores podem modificar esta medida. A cada iteração, as partículas se moverão para frente, no sentido para a qual estão atualmente apontadas, de acordo com a intensidade do vento. Além do deslocamento para frente, as partículas sofrem uma alteração no ângulo do sentido para a qual estão apontando a cada tick. Esta alteração ocorre de forma a simular a maré, que tende a encaminhar as partículas para as proximidades da beira do mar. A intensidade com a qual o sentido das partículas é alterada, depende de qual é o seu sentido atual. Se uma partícula tem um sentido oposto a maré, a intensidade da alteração de seu sentido atual será maior. A Figura 1 apresenta como funciona a “compensação” para simular a maré.



**Figura 1: Intensidades de alteração do ângulo de sentido das partículas**

Por exemplo, pode-se dizer que se o sentido de uma partícula está contida no intervalo compreendido entre 90 e 180, seu sentido receberá um acréscimo de 8% no seu valor atual. Na próxima iteração, seu valor de sentido será novamente testado e receberá uma nova alteração correspondente ao intervalo no qual se enquadra.

#### **4. Análise dos Resultados Obtidos**

Foram realizadas simulações de alguns cenários, tentando abranger diversas situações possíveis para as variáveis da simulação. Dependendo da forma com a qual o usuário configurar a simulação, as partículas podem atingir os molhes da barra, ou não. Algumas configurações, mesmo com a força favorável da maré, não atingiram o objetivo de alcançar a localidade desejada, quando executadas. Por exemplo, em um cenário no qual ocorra um vento de baixa intensidade no sentido sul, as partículas conseguiram alcançar uma localidade próxima aos Molhes da Barra. Em outro caso, se o vento for configurado como possuindo sentido norte e uma alta intensidade, as partículas não iram alcançar a localidade desejada.

A Tabela 1 contém os diversos cenários simulados. Cada linha representa um possível cenário que consiste em quatro colunas. A primeira coluna é o sentido do vento que é baseado nos principais pontos cardinais; a segunda coluna é a intensidade do vento, que pode variar entre leve (20), moderada (60) e intensa (100); a terceira coluna é a avaliação. Se a avaliação for favorável, indica que o resultado da simulação deste cenário é satisfatório, ou seja, as partículas se aproximam da região dos molhes da barra; no caso de avaliação desfavorável, as partículas não se aproximaram dos molhes da barra para o cenário que foi simulado. E a quarta coluna corresponde a medida de tempo (ticks).

**Tabela 1: Resultados dos cenários simulados**

Sentido do Vento	Intensidade do Vento	Avaliação	Tempo
Norte (0 ou 360)	Leve	Desfavorável	220
Norte (0 ou 360)	Moderada	Desfavorável	29

Norte (0 ou 360)	Intensa	Desfavorável	13
Nordeste (45)	Leve	Favorável	235
Nordeste (45)	Moderada	Favorável	58
Nordeste (45)	Intensa	Desfavorável	38
Leste (90)	Leve	Desfavorável	225
Leste (90)	Moderada	Favorável	44
Leste (90)	Intensa	Favorável	34
Sudeste (135)	Leve	Favorável	218
Sudeste (135)	Moderada	Favorável	36
Sudeste (135)	Intensa	Desfavorável	26
Sul (180)	Leve	Favorável	207
Sul (180)	Moderada	Favorável	27
Sul (180)	Intensa	Desfavorável	17
Sudoeste (225)	Leve	Favorável	213
Sudoeste (225)	Moderada	Favorável	28
Sudoeste (225)	Intensa	Favorável	13
Oeste (270)	Leve	Desfavorável	219
Oeste (270)	Moderada	Desfavorável	28
Oeste (270)	Intensa	Desfavorável	13
Noroeste (315)	Leve	Desfavorável	189
Noroeste (315)	Moderada	Desfavorável	26
Noroeste (315)	Intensa	Desfavorável	14

A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se observar alguns padrões, como a relação inversamente proporcional entre a intensidade do vento e o número de ticks necessários para cada cenário. Quanto maior a intensidade do vento, menor o número de ticks necessário. O número de ticks é influenciado também pelo sentido do vento. Alguns sentidos de vento, como sul e sudoeste, possuem uma maior tendência a convergir para as proximidades dos molhes da barra. Este fator torna a execução da simulação mais rápida, pois as partículas atingem seu objetivo mais rapidamente.

## 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Os sistemas baseados em agentes são soluções computacionais que possibilitam criar simulações para diversos campos de conhecimento com a biologicamente inspirada.

A Garoupa-Verdadeira é uma espécie emblemática da fauna brasileira, sendo escolhida para ilustrar a nota de 100 reais, exatamente por ser um dos peixes mais conhecidos da costa nacional. Em Rio Grande, existem dois habitats da Garoupa-Verdadeira. O primeiro é a localidade dos molhes da barra, que é um local composto de um substrato rochoso criado artificialmente na desembocadura da Laguna dos Patos. O segundo é o Parcel do Carpinteiro. Esta localidade consiste em um elevado topográfico submerso situado a 16 milhas náuticas da costa.

Com o intuito de simular este ambiente de dispersão de ovas e larvas da Garoupa-Verdadeira entre seus dois habitats em Rio Grande, foi criada uma simulação baseada em agentes, no software Netlogo. Esta simulação demonstra o movimento destas partículas em meio ao ambiente oceânico utilizando parâmetros informados pelo usuário.

Como trabalhos futuros, havendo dados reais, coletados por pesquisadores do Instituto de Oceanografia da FURG, seria possível realizar uma simulação mais realista do problema abordado. Estes dados podem conter novas variáveis que influenciem no ambiente oceânico, como o sentido exato de maré, temperatura e salinidade da água.

## Referências

- Adamatti, D. F.. Inserção de Jogadores Virtuais em Jogos de Papéis para Uso em Sistemas de Apoio a Decisão em Grupo: Um experimento no Domínio da Gestão de Recursos Naturais. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica – Universidade de São Paulo, 2007.
- Bruslé, J. e S. Bruslé. “Ovarian and testicular intersexuality in two protogynous mediterranean groupers, *Epinephelus aeneus* and *Epinephelus guaza*.” *Intersexuality in the animal kingdom*, 1975: 222-227
- Castro, L. N. e Timmis, J. *Artificial Immune Systems: A new computational Intelligence Approach*. Canterbury: Springer, 2002.
- Condini, M. V.. *Biologia reprodutiva, determinação de estrutura etária e crescimento da Garoupa-Verdadeira *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1983) em fundos rochosos no extremo sul do Brasil*. Rio Grande. Dissertação de Mestrado em Oceanografia – Universidade Federal do Rio Grande, 2012.
- Fennessy, Y. S. T. “Reproductive biology and growth of the yellowbelly rockcod *Epinephelus marginatus* (Serranidae) from South-east Africa.” *African Journal of Marine Science*, 28 de 1 de 2006: 1-11.
- Figueiredo, J. L. e N. A Menezes. *Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil*. São Paulo: Teleostei, 1980.
- Seyboth, E., et al. Age, Growth, and reproductive aspects of the dusky grouper *Mycteroperca marginata* (Actinopterygii: Epinephelidae) in a man-made rocky habitat in southern Brazil. *Neotrop. ichthyol.*, vol.9, no.4, Porto Alegre, 2011.