

Modelando estratégias de Pesca no Baixo Amazonas usando simulação multiagentes

Sérgio L M Rivero*, Oriana T Almeida⁺

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo de simulação multiagentes para a pesca comercial fluvial, utilizando como base de dados para a simulação a frota comercial do baixo Amazonas. O artigo modela atividade pesqueira, baseado na decisão dos indivíduos envolvidos nesta atividade. Busca explorar a possibilidade de modelar as decisões sobre estratégias de coleta que estão associadas aos níveis de preço de venda do pescado. Supôs-se, simplificadamente, a existência de dois mercados (cidade e fábrica). Buscou-se, também, simular as características da demanda destes dois mercados como a sazonalidade do mercado da cidade e a demanda mais constante por uma oferta em maior escala e regularidade da fábrica. A partir disto, simulou-se os efeitos da oferta sobre os preços dos dois mercados. Supõe-se também que estes mercados demandam tipos específicos de peixe. O mercado da fábrica demanda peixes de couro e o mercado da cidade demanda peixe de escamas. O mercado da cidade é mais sensível ao volume total ofertado e varia o seu preço inversamente em relação a ele. Já o mercado da fábrica é mais sensível ao tamanho da carga ofertada e oferece preços levemente maiores a cargas maiores por barco. Foram executadas 25 séries de simulação com vários cenários para os perfis de demanda. Estas simulações mostraram que o tamanho dos barcos é o principal elemento para a decisão da estratégia de coleta. Os barcos menores preferem uma estratégia que maximize a coleta de peixes de escama. Os barcos maiores pescam mais peixes de couro para o mercado da fábrica e os barcos de tamanho intermediário preferem estratégias mistas de coleta.

Palavras-Chave: Manejo de Recursos Pesqueiros, Simulação Multiagentes, Amazônia.

1 Introdução

A atividade pesqueira é importante fonte de suprimento para a demanda alimentar regional e também fonte de renda para as populações vivendo em torno da calha do Amazonas/Solimões. Além disso a atividade pesqueira voltada para o mercado interregional e

* Dr.Sc, Faculdade de Economia - UFPA, endereço: LaMoS - Laboratório de Modelagem e Simulação Econômicas, Programa de Pós Graduação em Economia, Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, UFPA, Campus do Guamá, email: rivero@ufpa.br.

+ PhD, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da UFPA, email: oriana@ufpa.br

internacional movimenta uma indústria que fatura mais de 300 milhões de reais por ano [Almeida e Lorenzen 2002].

Este trabalho faz um exercício sobre uma abordagem para a modelagem da atividade pesqueira baseada na decisão dos indivíduos envolvidos nesta atividade. Busca-se explorar a possibilidade de modelar as decisões sobre estratégias de coleta que estão associadas aos níveis de preço de venda do pescado. Supõe-se, simplificadamente, a existência de dois mercados (cidade e fábrica). Buscou-se também simular as características da demanda destes dois mercados como a sazonalidade do mercado da cidade e a demanda mais constante por uma oferta em maior escala e regularidade da fábrica. A partir disto, simulou-se os efeitos da oferta sobre os preços dos dois mercados. Supõe-se também que estes mercados demandam tipos específicos de peixe. O mercado da fábrica demanda peixes de couro, que tem um preço/Kg menor, mas uma maior disponibilidade no ambiente. O mercado da cidade demanda peixe de escama que tem um preço/kg maior mas uma menor disponibilidade. O mercado da cidade é mais sensível ao volume total ofertado e varia o seu preço inversamente em relação a ele. Já o mercado da fábrica é mais sensível ao tamanho da carga ofertada e oferece preços levemente maiores a cargas maiores por barco.

Utiliza-se a noção de *agente* como principal elemento estrutural da simulação. Isto é, a principal unidade da simulação é um componente de software que pode tomar decisões a partir de um determinado conjunto de elementos de entrada (considerado como um estado do mundo). Os agentes simulados aqui são os proprietários de barcos. Os agentes podem escolher duas *estratégias de coleta*, capturar peixes de escama ou peixes de couro. Os proprietários dos barcos escolherão a estratégia que maximize o seu faturamento no curto prazo. Cada um destes agentes simulados utiliza um algoritmo adaptativo ¹ para estabelecer qual a estratégia de coleta ele deve seguir. Suas estratégias podem ser, no decorrer do tempo, uma combinação destas duas (estratégias mistas).

Os dados utilizados para calibrar os valores dos tamanhos de barcos e das participações relativas dos barcos de cada classe de tamanho no total da frota são de [Almeida, McGrath e Rufino 2001].

Foram executadas 25 séries de simulação com vários cenários para os perfis de demanda. Estas simulações mostram que o tamanho dos barcos é o principal elemento para a decisão da estratégia de coleta. Os barcos menores preferem uma estratégia que maximize a coleta de peixes de escama. Os barcos maiores pescam mais peixes de couro para o mercado da fábrica

e os barcos de tamanho intermediário preferem estratégias mistas de coleta.

2 A Pesca Comercial no Baixo Amazonas

A pesca na calha do rio Amazonas/Solimões é responsável por uma renda anual estimada em mais de 471 milhões de reais [Almeida e Lorenzen 2002]. Desta renda, aproximadamente 18% é apropriada pelos pescadores de subsistência e 16 % por pescadores comerciais. A atividade pesqueira gera, segundo os mesmos autores, em torno de 87.300 empregos. Destes empregos, aproximadamente 90% são de pescadores comerciais e subsistência (57% subsistência, 33% comerciais).

A região norte do Brasil participava, em 1994 com aproximadamente 21% da produção pesqueira nacional [Abdalla e Bacha 1999]. No ano 2000, a produção pesqueira com origem na região norte era de mais de 215 mil toneladas, sendo que, deste total, aproximadamente 50 % era resultado da pesca continental (Tabela 1).

Tabela 1: Produção pesqueira e origem, em toneladas - Região Norte - 2000

UF	Continente	%	Mar	%	Total
Acre	1.699	100	-	-	1.699
Amapá	6.146	63	3.628	37	9.737
Amazonas	55.726	100	-	-	55.726
Pará	42.901	30	101.519	70	144.349
Rondônia	4.285	100	-	-	4.285
Roraima	201	100	-	-	201
Tocantins	1.471	100	-	-	1.471
Total Norte	112.429	52	105.147	48	215.769

fonte: IBAMA, in [SouzaJúnior 2003]

A produção pesqueira, portanto, tem como fonte importante de suprimento os rios e lagos da Amazônia. Há uma população local que consome pescado e que é abastecida pela pesca comercial e pelo excedente dos pequenos pescadores de subsistência. Também, visto que os estoques pesqueiros estão cada vez mais explorados, os rios da Amazônia se tornam, cada vez mais, fontes de suprimento de pescado para mercados nacionais e internacionais. As

preferências do mercado consumidor local, para peixes de água doce, são, porém, bastante restritas. Concentram-se em 5 ou 6 espécies que são fonte de uma forte sobrepesca. A pesca em uma escala mais industrial, com barcos maiores e uma estrutura que permita uma produtividade maior para o esforço de pesca também produz pressão sobre o estoque embora eventualmente possa ter como alvo peixes menos demandados localmente (tabela 2).

Tabela 2: Produção pesqueira de água doce por espécie

Especie	Volume (t)	Percentual	Acumulado
Curimatá	23.683,00	21,02%	21,02%
Piramatuba	18.642,00	16,55%	37,57%
Dourada	12.228,50	10,86%	48,43%
Jaraqui	10.893,50	9,67%	58,10%
Bagre	10.362,50	9,20%	67,30%
Pescada	10.335,00	9,18%	76,48%
Surubim	8.271,50	7,34%	83,82%
Pacu	7.048,50	6,26%	90,08%
Filhote	5.657,00	5,02%	95,10%
Tucunaré	5.521,00	4,90%	100,00%
Total	112.642,50		

fonte: IBAMA, in [SouzaJúnior 2003]

Uma questão que surge deste grau relativo de especialização da produção pesqueira é o quanto desta demanda pode ser utilizada pelo mercado local e o quanto para exportação. Esta é uma consequência das escolhas de estratégia feitas pelos agentes. Apesar de serem estabelecidas de forma extremamente simplificada, aqui neste trabalho, estas estratégias podem ser entendidas como a escolha entre dois tipos de mercado. Um mercado local, mais associado às demandas regionais, com as suas características de sazonalidade e com uma demanda bem restrita em termos de espécies comercializáveis e um mercado industrial onde a demanda é mais constante, a escala de produção implica em retornos associados as necessidades operacionais das fábricas e o processamento de pescado tem como saída produtos embalados e padronizados.

Os requisitos de demanda destes dois tipos de mercado podem impor características muito diferentes ao padrão de coleta (a atividade dos pescadores comerciais). Uma demanda com regularidade e em larga escala, eventualmente imporá um padrão de coleta mais associado à pesca industrial já uma demanda mais local poderá permitir uma alternativa mais viável para a coleta em pequena escala. A sensibilidade dos mercados às variações da oferta e da demanda

bem como tamanho do mercado, são dois componentes da sua modelagem. O modo como os preços reagem a variações da oferta tem implicações diretas na rentabilidade da produção pesqueira e, conseqüentemente implica em mudanças nas estratégias de coleta.

3 Modelos Baseados em Agentes

A noção de agente tem sido utilizada recentemente como um componente fundamental na construção de modelos de simulação. Esta abordagem teve início a partir do trabalho pioneiro de um grupo associado ao *Santa Fe Institute*, de Santa Fe, EUA. Este grupo produziu o *Swarm* Que é uma ferramenta de software que tem como objetivo implementar "... a general purpose framework for simulating concurrent distributed artificial worlds" [Burkhart 1997]. O *Swarm* pode ser definido, segundo [Minar et al. 1996] como "... a multiagent software platform for the simulation of complex adaptive systems". Esta ferramenta implementa formalmente seus modelos como uma coleção de agentes independentes interagindo via eventos discretos. Agente, para o *Swarm* é uma entidade que pode gerar eventos que afetam a ela e a outros agentes. Agente, então, é a unidade básica de uma simulação no *Swarm*. Agentes interagindo consistem em uma simulação. Para uma definição mais precisa da noção de agente para simulação ver [Rivero 1999], especialmente o capítulo 5.

Esta noção de agente é a mais comumente usada quando se está propondo uma abordagem de simulação baseada neste elemento estrutural. Outros *frameworks* de software que implementam a mesma noção de agente são o *CORMAS* [CIRAD 2001, Bousquet 2001] e o *RePast* [Social Science Research Computing 2003]. O *framework* utilizado aqui é baseado no trabalho do grupo de Agentes do Laboratório de Sistemas de Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina (LSC-UFSC). E é um desenvolvimento de uma ferramenta chamada *Mundo dos Atores* [Mariani 1998]. Esta ferramenta foi posteriormente modificada para permitir a sua implementação para simulação e para a sua utilização em outros sistemas operacionais além do Windows.

A idéia de agentes que utilizem algoritmos adaptativos em simulação computacional tem em John Holland a sua grande inspiração. É um trabalho de 1991 [Holland e Miller 1991] que propõe o uso de agentes adaptativos artificiais para a construção de simulação econômica. Este trabalho pioneiro propõe a idéia de uma economia como um sistema dinâmico evolutivo complexo que consiste de uma rede de agentes em interação. Esta rede exibe um comportamento dinâmico agregado que emerge das atividades individuais dos agentes Este

comportamento agregado do sistema pode ser descrito sem um conhecimento detalhado do comportamento dos agentes. Os agentes, neste tipo de sistema conseguem atribuir a suas ações algum tipo de valor (lucro, retorno, utilidade, fitness, etc.) e agem sempre no sentido de aumentar o valor deste resultado. Estes agentes estão sempre em interação com outros. O sistema geralmente opera longe de qualquer ótimo global. Esta abordagem tem como consequência a construção de modelos que permitem um *mapeamento* mais preciso das características dos problemas observados. Levando potencialmente a modelos de maior poder explicativo para aos sistemas em questão.

O uso de agentes adaptativos em simulação tem se disseminado nos últimos anos. Um aspecto importante tem sido o seu uso na simulação ambiental. Exemplos deste tipo de abordagem podem ser visto numa edição especial do Journal of Artificial Societies and Social Simulation que foi dedicada especificamente à relação entre modelagem baseada em agentes, teoria dos jogos e gerenciamento de recursos naturais[Bousquet et al. 2001]. Um estudo desse periódico, por exemplo [Thébaud e Locatelli 2001] utiliza agentes para modelar o surgimento de convenções para o compartilhamento de recursos naturais. Outro estudo [Doran 2001], discute o uso de agentes para simular cenários de gerenciamento de recursos naturais que permitam aos participantes de procesos de negociação sobre o uso destes recursos uma avaliação das consequências de diferentes acordos que podem ser estabelecidos. Os agentes artificiais, neste caso, são utilizados para incentivar o surgimento de estratégias cooperativas. Outro artigo [Deadman, Schlager e Gilbert 2001] utiliza agentes para modelar diversos cenários de uso de recursos comuns em diferentes ambientes institucionais.

O uso de agentes adaptativos antecipatórios em simulação tem como ponto de partida o trabalho de Paul Davidsson [Davidsson 1996]. A implementação do agente seguida aqui foi definida em [Rivero, Storb e Wazlawick 1999]. Esta implementação utiliza um algoritmo genético como algoritmo adaptativo e a implementação modificada do mundo dos atores para a construção computacional do modelo.

4 Definição e Implementação do Modelo

O Modelo implementado neste trabalho deve ser visto como um estudo exploratório das possibilidades da simulação baseada em agentes adaptativos para o tratamento de problemas de gerenciamento dos recursos naturais. A busca aqui é a verificação de como é possível estabelecer uma estrutura simples de modelagem baseada em agentes que possa ser

posteriormente operacionalizável (submeter-se a calibração e testes estatísticos de sensibilidade) para construir cenários mais complexos de simulação ambiental.

4.1 Descrição Global da Implementação

O foco do modelo é capturar a *estrutura* do problema em questão tornando os componentes a serem modelados o mais autônomos que for possível uns dos outros.² Portanto, cada componente do modelo é implementado de maneira independente, buscando diminuir o grau de interferência de cada elemento modelado sobre o outro. A redução deste acoplamento, torna as interações entre os diversos componentes do modelo mais controláveis.

A abordagem de simulação, assim como no Swarm, CORMAS e RePast, é a de *simulação a eventos discretos*. Os componentes do modelo são implementados como *agentes*. Cada agente tem uma *agenda* que ele executa a cada iteração do *mundo*. A execução do objeto *Mundo* dispara um ciclo de simulação.

4.2 O Arcabouço de simulação multiagentes

O modelo desenvolvido para a implementação do framework multiagentes está baseado sobre o Mundo dos Atores[Mariani 1998]. O mundo dos atores é uma ferramenta para o ensino de programação orientada a objetos. Sua aplicação atual, porém, é maior que sua concepção inicial. Este desenvolvimento se deu de maneira combinada pela atividade do Prof. Mariani e pelas discussões no grupo de agentes do LSC (Laboratório de Sistemas de Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina). Durante as discussões sobre diversos modelos de sistemas multiagentes existentes, percebeu-se que a abordagem do mundo dos atores poderia suportar uma implementação de simulações a eventos discretos. O estudo do Swarm [Minar et al. 1996] possibilitou o conhecimento de uma abordagem de simulação multiagentes que poderia ser viabilizada no mundo dos atores. A primeira implementação do mundo dos atores utiliza *Smalltalk Express*, posteriormente a ferramenta foi migrada para *Squeak Smalltalk* pelo autor e está implementada nesta plataforma atualmente.

4.2.1 As classes do ambiente de simulação

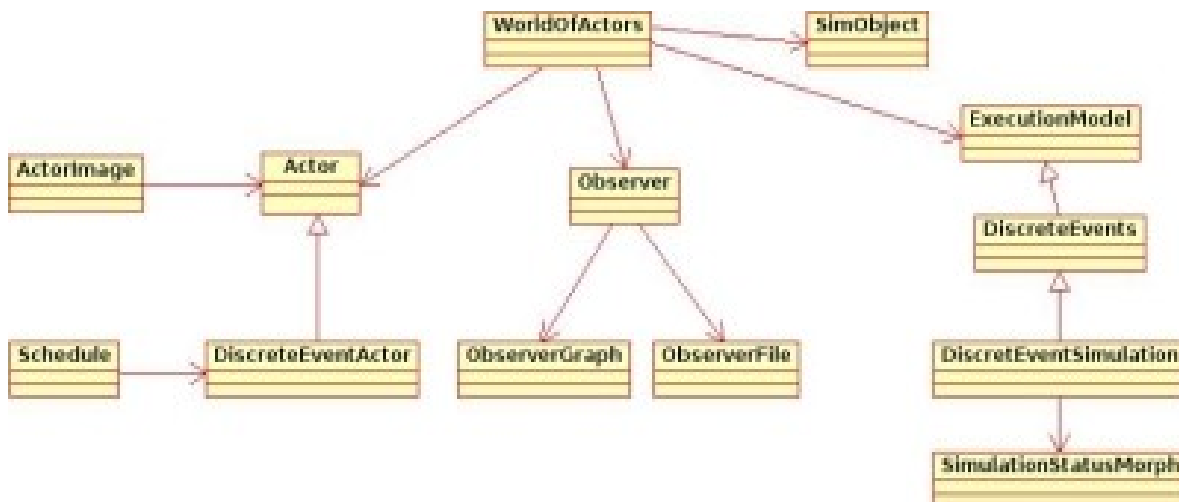


Figura 1: Classes Básicas do Arcabouço de Simulação

A principal classe do ambiente é a classe *WorldOfActors*. Um objeto *WorldOfActors* (o Mundo) é o *container* para todos os outros objetos que participam de uma simulação. A simulação é executada utilizando a classe *DiscreteEventSimulation*. É esta classe que controla todo o processo de execução da simulação a eventos discretos. Num objeto da classe *DiscreteEventSimulation* é que está ligada a janela de controle da simulação.

O componente fundamental na simulação é a classe *Actor*. Sua subclasse *DiscreteEventActor* é responsável pela implementação dos agentes. Um objeto da classe *DiscreteEventActor* possui uma agenda (um objeto da classe *Schedule*) que é executada a cada iteração do *mundo*.

Um conceito que foi discutido e posteriormente implementado nas simulações foi a noção de observador. Um observador, assim como no *Swarm*, é um componente que permite a recuperação de informações dos atores durante um processo de simulação a eventos discretos sem interferir nesta execução. A classe que implementa esta idéia é *Observer*. São os objetos da classe *Observer* que possibilitam a visualização e gravação em arquivos dos dados de uma simulação.

4.3 O modelo Implementado

Os atores do modelo são:

- *Mercado* - Existem dois tipos, Cidade e Fábrica;
- *Metapopulação de Peixes*- Existem dois tipos de peixe, Peixe de Escama e Peixe de Couro;
- *Barcos* - Existem 5 tipos de barco associados à capacidade de carga;
- *Proprietários* - São os *agentes* do modelo. Escolhem as estratégias;
- *Gerador de Peixes* - Gera Metapopulações de peixe para simular as migrações.

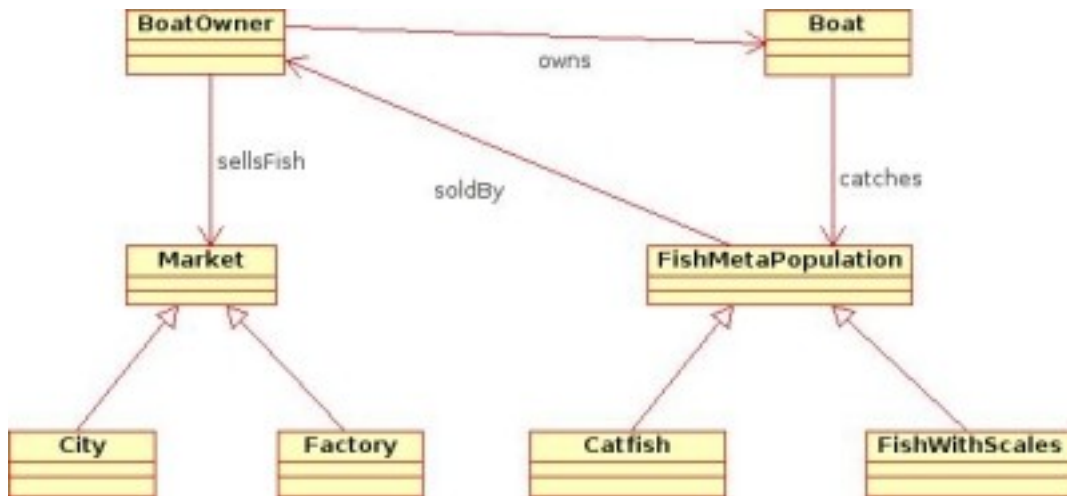


Figura 2: Classes implementadas para a simulação dos pescadores

Os preços são determinados pelos mercados, na interação entre o volume de oferta e a função de demanda do mercado. O Mercado da Cidade é dependente da oferta total. Neste trabalho supomos que o mercado da cidade demanda apenas um tipo de peixe (peixe de escama) e que os preços variam de maneira inversa à oferta total. Supomos também que a demanda varia periodicamente tendo "picos" em períodos de seis meses. Esta variação foi pensada para simular a sazonalidade do mercado da cidade. A função do preço do mercado da cidade é:

$$price_{city} = \frac{1}{1 + a_c x^{exp}} \div \left(1 + \frac{b_c \cdot totalOffer}{maximumDemmand}\right) \quad (1)$$

onde:

- *totalOffer* - é a oferta total;

- *maximumDemand* - é a demanda máxima para o mercado. Esta demanda varia periodicamente;
- x - é a carga do barco vendida ao mercado;
- a_c e b_c - são parâmetros que regulam a sensibilidade dos preços à oferta.

O mercado da fábrica vai ter uma função que não varia sazonalmente. No modelo, o mercado da fábrica compra apenas peixes de escama. Os preços são melhores para cargas maiores. A idéia subjacente a este tipo de modelo para uma função de preço é que a escala é fundamental para a fábrica. Isto implica, então que barcos com capacidade de carga maior vão ser mais adequados para o processo de produção da fábrica e, portanto tendem a receber preços melhores pelas suas cargas. A equação dos preços para a fábrica será:

$$price_{factory} = \frac{1}{1 + a_f x^{-exp}} \quad (2)$$

onde:

- x - é a carga do barco vendida ao mercado;
- a_f - é um parâmetro que regula a sensibilidade dos preços à oferta.

Há duas subclasses da metapopulação dos peixes, peixe de escama (*ScaleFish*) e peixe de couro (*CatFish*). Cada classe é inicializada com parâmetros específicos de tamanho, recrutamento, morte. Metapopulações de peixe de escama têm um tamanho menor que metapopulações de peixe de couro. Há várias metapopulações de peixes numa simulação. Foi implementada também uma classe "Gerador de Peixes" (*FishGenerator*) para simular a chegada de cardumes que migram pela calha do rio.

Há 5 subclasses de barco (*Boat*). Cada subclasse é inicializada com uma capacidade de carga diferente. Esta capacidade de carga reflete a análise da frota feita por [Almeida, McGrath e Rufino 2001].

Os proprietários dos barcos são os *agentes* no modelo. Cada proprietário tenta maximizar uma função utilidade esperada expressa da seguinte forma:

$$u_i^e = \max(price_{city} \cdot fishWithScales_i; price_{factory} \cdot catfish_i)$$

(3)

onde:

- $price_{city}$ - é o preço para o peixe de escamas praticado no mercado da cidade.
- $fishWithScales_i$ - é a quantidade de peixe de escamas (em quilogramas) capturada pelo pescador i
- $price_{factory}$ - é o preço para o peixe de couro comprado pela fábrica
- $catfish_i$ - é a quantidade de peixe de couro (em quilogramas) comprada pela fábrica do pescador i .

As restrições ao modelo são:

$$fishWithScales_i \leq loadCapacity_i$$

$$catfish_i \leq loadCapacity_i$$

Isto é, o proprietário de barco tentará escolher, dada a capacidade de carga do barco, a estratégia que melhor retorno lhe der. Neste caso, estamos confundindo aqui utilidade com faturamento total esperado. Os proprietários poderão, a cada iteração escolher uma estratégia. Há duas estratégias possíveis. Pescar peixe de escama para vender ao mercado da cidade ou pescar peixe de couro para vender ao mercado da fábrica.

Os agentes (os donos de barco) escolhem a cada iteração do processo de simulação, qual a estratégia que lhes dá a maior renda. O objetivo dos agentes é maximizar a utilidade expressa na equação 3. Esta escolha é feita com o uso de um algoritmo genético. Na estratégia, são escolhidos o tipo de peixe a pescar e a quantidade de peixe (em quilos) a ser pescada.

Os peixes pescados são, posteriormente, vendido no mercado adequado. Os preços vão obedecer as funções dos mercados da cidade (equação 1) ou da fábrica (equação 2). Os agentes não podem escolher, numa iteração da simulação, uma combinação das duas estratégias. A cada simulação, portanto, os agentes escolhem estratégias puras.

Cada agente coleta os peixes num dado número de iterações que é determinado pela sua *autonomia*. Isto é, cada intervalo de iteração seria um mês e a autonomia do barco seria maior, dada a sua maior capacidade de carga.

5 Execução das Simulações

Foram definidos inicialmente 55 metapopulações de peixe de couro inicializadas aleatoriamente em uma faixa entre 450 e 850 Kg para cada metapopulação. Para peixe de escamas foram inicializadas 50 metapopulações, cada uma com uma faixa de 300 a 650Kg.

Os mercados da cidade e da fábrica foram inicializados com uma demanda de 360 toneladas.

Tabela 3: Atores definidos na simulação

Agente	Quantidade	Tamanho
Fábrica	1	360t ano
Cidade	1	360t ano
Metapopulação - Peixe de Couro (Catfish)	55	$\geq 400 < 850 \text{Kg}$
Metapopulação - Peixe de Escamas (Fish with scales)	50	$\geq 300 < 650 \text{Kg}$
Barco (Classe 1)	35	$< 100 \text{Kg}$ de Carga
Barco (Classe 2)	16	$\geq 100 < 400 \text{Kg}$ de Carga
Barco (Classe 3)	3	$\geq 400 < 800 \text{Kg}$ de Carga
Barco (Classe 4)	2	$\geq 800 < 1500 \text{Kg}$ de Carga
Barco (Classe 5)	1	$\geq 1500 < 4000 \text{Kg}$ de Carga

Foram implementadas 5 classes de barco (tabela 3) indo de 100 Kg de capacidade de carga, para os menores barcos até, 4.000 Kg de capacidade de carga para os barcos maiores. Cada barco tem um proprietário. Os números de barcos foram inicializados proporcionalmente aos volumes da frota identificados em [Almeida, McGrath e Rufino 2001]. Os tamanhos foram inicializados aleatoriamente dentro dos intervalos de tamanho das classes de barco. Cada proprietário de barco tem associado a ele uma *população de estratégias*. Esta população de estratégias é *evoluída* usando o algoritmo genético e a função de utilidade esperada do agente como função de *fitness*. A cada iteração da simulação a população de estratégias executa 10 iterações. Este volume de iterações parece pouco para o AG. Esta decisão foi tomada devido a requisitos de capacidade de processamento e tempo. Ao todo temos 58 agentes executando a cada iteração da simulação 10 iterações do AG cada. A 100 iterações da simulação cada agente executa 1.000 iterações do AG. As populações de estratégias evoluem, portanto, por, no mínimo 1.000 iterações.

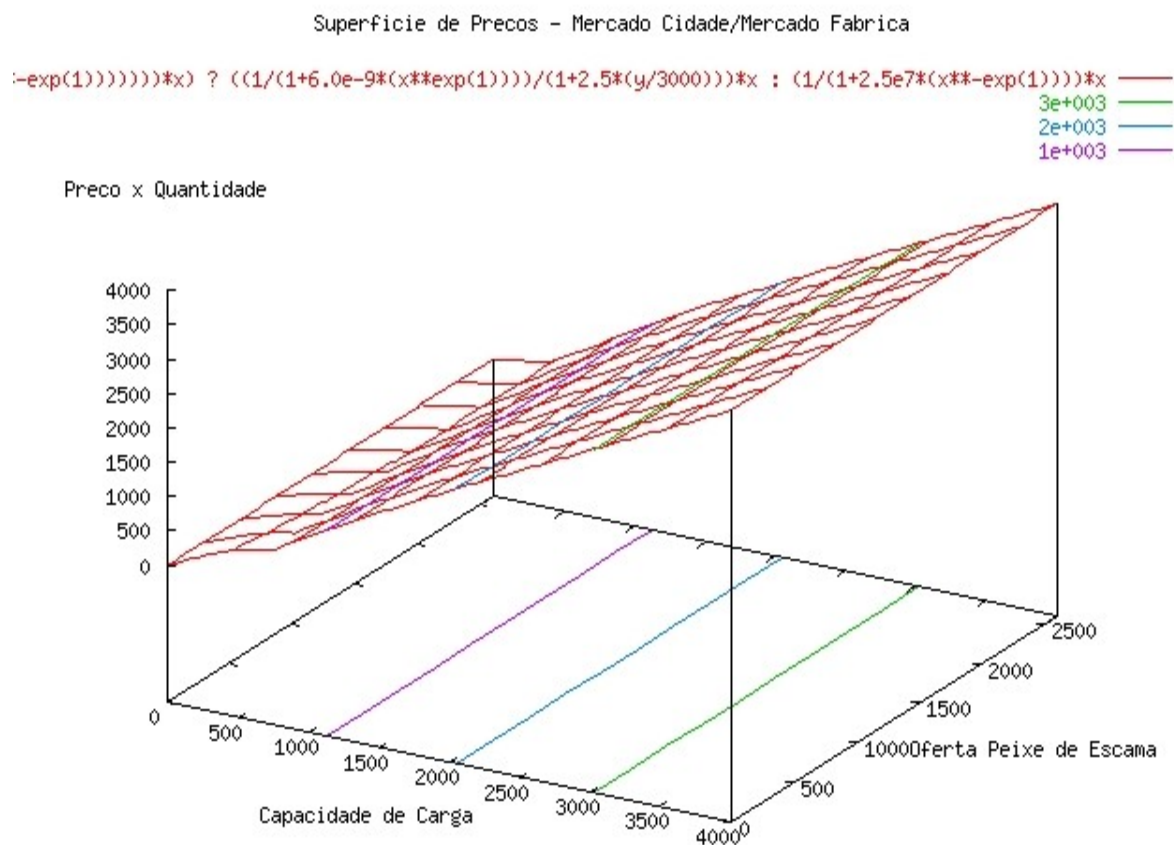


Figura 3: Superfície de Preços para os Dois Mercados

Cada execução da simulação foi feita com, no mínimo 100 iterações. Experimentouse a variação dos parâmetros e das funções de preço dos mercados. A figura 3 mostra a superfície faturamento para os dois mercados cidade/fábrica que os agentes tentam maximizar. A

superfície referenciada na figura 3 tem os valores de α para o parâmetro α e de β para o parâmetro β . Os barcos com maior capacidade de carga podem conseguir um maior valor para os peixes de couro e os barcos com menor capacidade de carga conseguem maiores valores para os peixes de escama. Mas isto pode variar de acordo com os parâmetros escolhidos para as funções de preços.

5.1 Resultados para diversos níveis de sensibilidade aos preços

Abaixo apresentamos os gráficos com as estratégias dos agentes para vários cenários de sensibilidade dos preços aos volumes de oferta. Estes gráficos apresentam as estratégias escolhidas para cada classe de barco. Temos cinco classes de barco ($c1 - <100Kg$, $c2 - \geq 100 < 400Kg$, $c3 - \geq 400 < 800Kg$, $c4 - \geq 800 < 1500Kg$, $c5 - \geq 1500 < 4000Kg$) e duas estratégias (vistas aqui como s - peixes de escama e c - peixe de couro). Temos, portanto, no máximo dez possíveis estratégias x classes de barco, representadas nas legendas por ($c1ss$, $c1sc$, $c2ss$, $c2sc$, $c3ss$, $c3sc$, $c4ss$, $c4sc$, $c5ss$, $c5sc$). É de se esperar que, dada a forma como foram definidas as funções, os barcos pequenos tendam a escolher a estratégia pescar peixe de escama e os barcos grandes tendam a escolher a estratégia, pescar peixe de couro, ficando a escolha de estratégias mistas associada à variação sazonal dos preços no mercado. As estratégias são inicializadas de forma aleatória e os agentes devem, utilizando o AG buscar as estratégias que maximizem seus resultados.

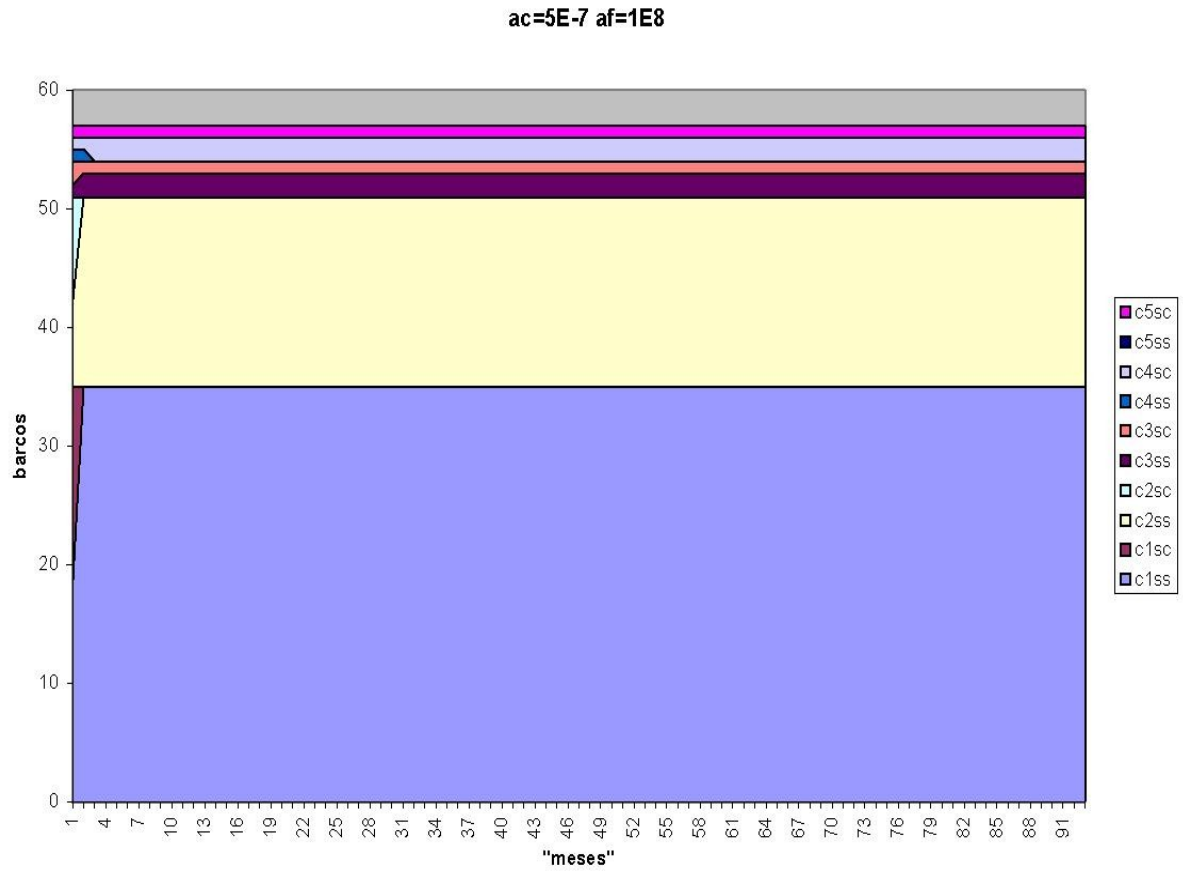


Figura 4: Simulação para Valores de $a_c = 5e^{-7}$ e $a_f = 1e^8$

Com os valores de $a_c = 5e^{-7}$ e $a_f = 1e^8$ os barcos das classes 1 e 2 escolhem a estratégia s e os barcos das classes 4 e 5 escolhem a estratégia c , como estratégias estáveis independente das variações sazonais dos preços. Os barcos da classe 3 dividem-se entre a estratégia c e s . Isto se deve à inicialização do tamanho. Os barcos da classe 3 ($\geq 400 < 800Kg$) estão exatamente na fronteira econômica entre os dois tipos de estratégia.

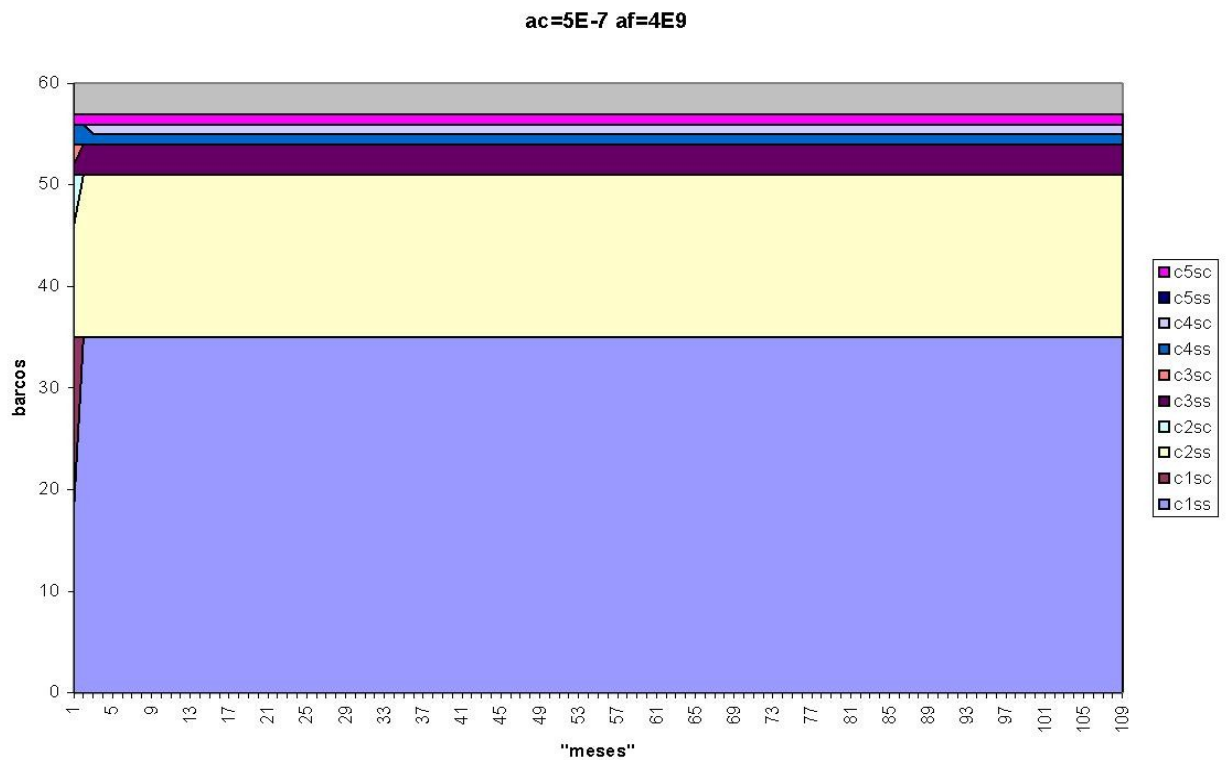


Figura 5: Simulação para Valores de $a_c = 5e^{-7}$ e $a_f = 4e^9$

Esta escolha de parâmetros ($a_c = 5e^{-7}$ e $a_f = 4e^9$) leva a fronteira econômica das estratégias para os barcos da classe 4 ($\geq 800 < 1500Kg$). Estes barcos, com os preços da fábrica em valores menores para aquela classe de tamanho, tendem a dividir-se entre as duas estratégias.

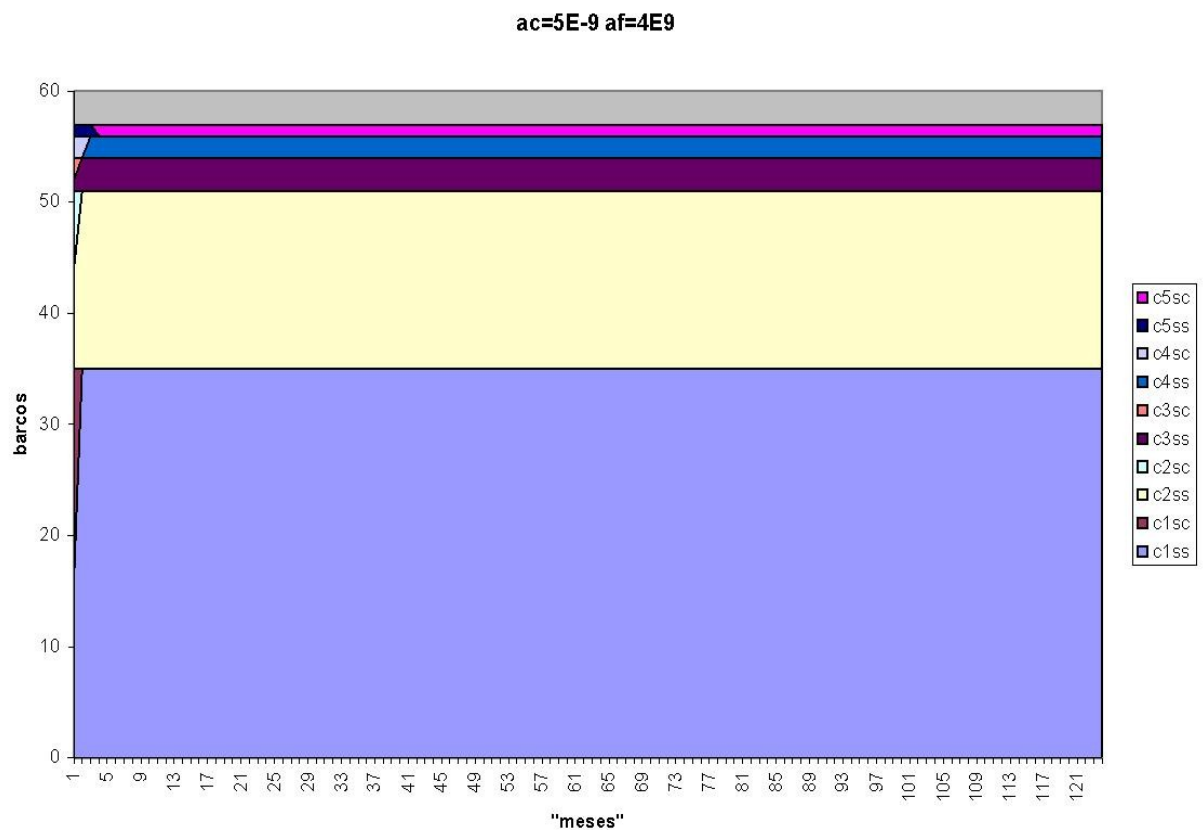


Figura 6: Simulação para Valores de $a_c = 5e^{-9}$ e $a_f = 4e^9$

Com os parâmetros ($a_c = 5e^{-9}$ e $a_f = 4e^9$) tem-se a situação mais estável. Os barcos tendem a escolher, de maneira rápida, a suas estratégias. Como as funções de preços para peixe de couro são criticamente dependentes do tamanho da carga, aqui, os barcos da classe 4 também escolhem a estratégia s .

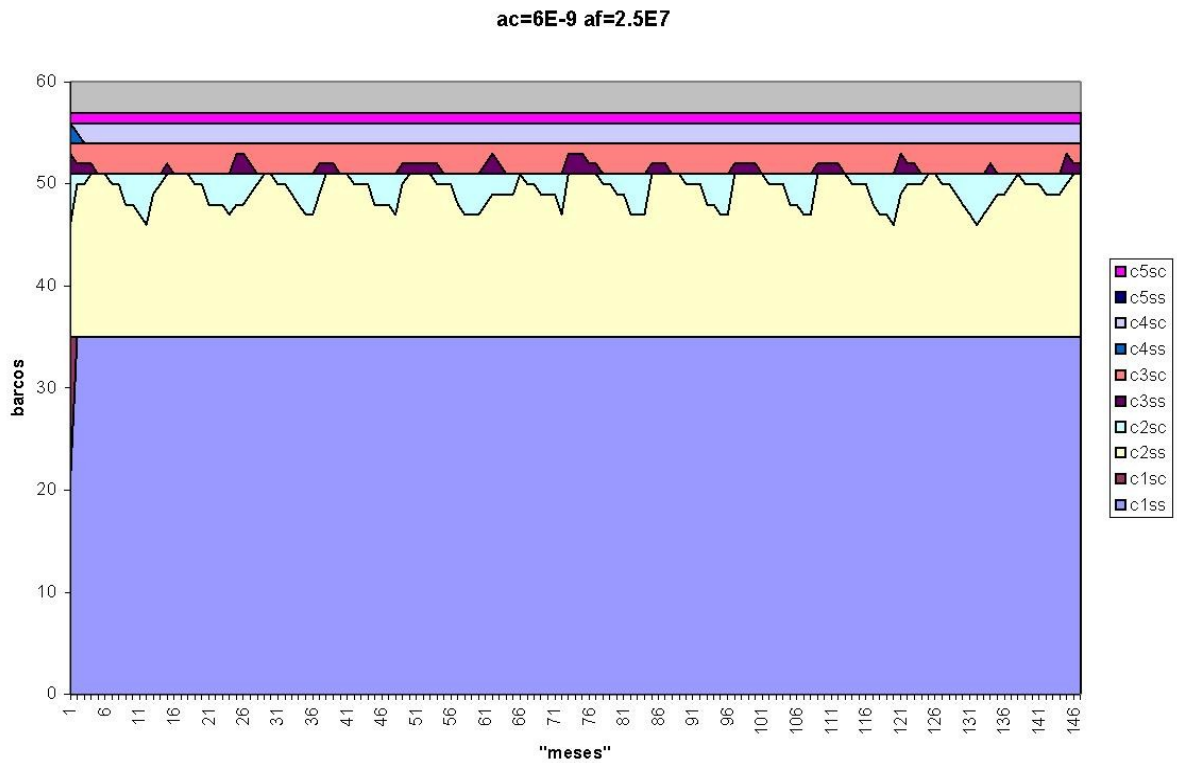


Figura 7: Simulação para Valores de $a_c = 6e^{-9}$ e $a_f = 2,5e^7$

Nesta escolha dos parâmetros $a_c = 6e^{-9}$ e $a_f = 2,5e^7$ os agentes das classes 2 e 3 tendem a escolher estratégias mistas. Estas estratégias estão associadas não só às sensibilidades das funções de preço à oferta, mas também ao fato de que a fronteira entre as duas superfícies de faturamento foi estabelecida em um nível de tamanho que permite a barcos pequenos oferecerem sua carga ao mercado da fábrica com retorno maior que os preços da cidade em períodos de baixa de preços.

6 Conclusões

A simulação multiagentes pode ser uma ferramenta útil para a construção de cenários. O esforço de construção das aplicações, porém ainda torna a tarefa complicada. Uma característica que torna o uso da simulação multiagentes interessante é a possibilidade do estabelecimento de analogias mais intuitivas para a construção de cenários. Isto pode permitir, no futuro, a construção de ferramentas de cenários utilizáveis por um número maior de pessoas. Esta abordagem mais "intuitiva" pode permitir que se discutam modelos alternativos

de gestão de recursos naturais com os interessados mapeando as suas estratégias e discutindo a conseqüências das interações entre os diversos agentes. Para isso, porém, ainda é necessária a elaboração de uma metodologia para que este tipo de abordagem seja possível.

Referências

- [Abdalla e Bacha 1999] ABDALLA, P. R.; BACHA, C. J. C. Evolução da atividade pesqueira no brasil: 1960-1999. *Teoria e Evidência Econômica*, v. 7, n. 13, p. 9–24, 1999.
- [Almeida e Lorenzen 2002] ALMEIDA, O.; LORENZEN, K. *Resultados de Pesquisa: Manejo Da Pesca No Baixo Amazonas*. [S.l.], 2002.
- [Almeida, McGrath e Rufino 2001] ALMEIDA, O. T.; MCGRATH, D. G.; RUFINO, M. L. The commercial fisheries of the lower amazon: an economic analysis. *Fisheries Management and Ecology*, v. 8, p. 253–269, 2001.
- [Bousquet 2001] BOUSQUET, F. *Modelisation d'Accompagnement: simulations multi-agents et gestion de ressource naturelles et renovables*. Lyon, march 2001.
- [Bousquet et al. 2001] BOUSQUET, F. et al. Agent-based modelling, game theory and natural resource management issues. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 4, n. 2, March 2001.
- [Burkhart 1997] BURKHART, R. Schedules of activity in the SWARM simulation system. In: SFI (Ed.). *OOPSLA97 - Workshop on Object Oriented Behavioral Semantics*. Santa Fe: na, 1997.
- [CIRAD 2001] CIRAD. *CORMAS: Natural Resources and Agent-Based Simulations*. Nov 2001. [Http://www.cormas.cirad.fr/indexeng.htm](http://www.cormas.cirad.fr/indexeng.htm).
- [Davidsson 1996] DAVIDSSON, P. *Autonomous Agents and the Concept of Concepts*. Tese (Doutorado) — Lund University - Department of Computer Science, 1996.
- [Deadman, Schlager e Gilbert 2001] DEADMAN, P. J.; SCHLAGER, E.; GILBERT, N. Simulating common pool resource management experiments with adaptive agents employing alternate communication routines. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 4, n. 2, March 2001.
- [Doran 2001] DORAN, J. Intervening to achieve co-operative ecosystem management: towards an agent based model. *Journal of Artificial Societies and*

- Social Simulation*, v. 4, n. 2, march 2001. Disponível em: <<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/2/4.html>>.
- [Goldberg 1989] GOLDBERG, D. E. *Genetic Algorithms in Search Optimization, and Machine Learning*. Reading, Massachussets: Addison-Wesley, 1989.
- [Holland 1975] HOLLAND, J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Cambrige, MA: MIT Press, 1975.
- [Holland e Miller 1991] HOLLAND, J. H.; MILLER, J. H. Artificial adaptive agents in economic theory. *American Economic Review*, American Economic Association, v. 81, p. 365–370, 1991. Papers and Proceedings.
- [Mariani 1998] MARIANI, A. C. O mundo dos atores: Uma perspectiva de introdução à programação orientada a objetos. In: *Anais Do SBIE - Simpósio Brasileiro de Informática Na Educação*. [S.l.]: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 1998.
- [Minar et al. 1996] MINAR, N. et al. *The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-Agent Simulations*,. 1996. Santa Fe Institute, <http://www.santafe.edu/projects/swarm/overview.ps>.
- [Rivero 1999] RIVERO, S. L. M. *Um Framework Para Simulação Econômica Baseado Em Sistemas Multiagentes Adaptativos Com Racionalidade Limitada*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Agosto 1999.
- [Rivero, Storb e Wazlawick 1999] RIVERO, S. L. M.; STORB, B. H.; WAZLAWICK, R. S. Economic theory, anticipatory agents and artificial adaptive agents. *Brazilina Eletronic Journal of Economics*, v. 2, n. 2, Jun 1999. <Http://www.beje.decon.ufpe.br/rivero/rivero.htm>.
- [Social Science Research Computing 2003] Social Science Research Computing. *RePast - A Java Toolkit for Agent Based Simulation*. 2003. <Http://repast.sourceforge.net/>.
- [SouzaJúnior 2003] SOUZA JÚNIOR, W. C. de. *Indústria de Pesca e Mercado: Bacia Amazônica*. [S.l.], 2003.
- [Thébaud e Locatelli 2001] THÉBAUD, O.; LOCATELLI, B. Modelling the emergency of resource sharing conventions: an agent based approach. *Journal of*

Artificial Societies and Social Simulation, v. 4, n. 2, march 2001. Disponível em:
<<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASS/4/2/3.html>>.

1 O algoritmo adaptativo utilizado aqui é um *algoritmo genético* [Goldberg 1989, Holland 1975]

2 O objetivo a alcançar aqui é semelhante a um dos requisitos de consistência da engenharia de software. Busca-se um *baixo acoplamento* dos componentes do modelo.