

Demiourgos: Simulação Baseada em Agentes para Análise da Evolução de Camuflagem em Seres Vivos

Alternative Title - Demiourgos: Agent-Based Simulation for the Analysis of Camouflage Evolution of Living Beings

Luiz H. M. Aguiar
PPG Sist. Mecatrônicos
Universidade de Brasília -
Brasília - DF
luiz@bitgroup.co

Alexandre Zaghetto
Dept. de Ciência da Comp.
Universidade de Brasília -
Brasília - DF
azaghetto@bitgroup.co

Cauê Zaghetto
PPG Sist. Mecatrônicos
Universidade de Brasília -
Brasília - DF
zaghettoc@bitgroup.co

Celia Ghedini Ralha
Dept. de Ciência da Comp.
Universidade de Brasília -
Brasília - DF
ghedini@unb.br

Flávio de Barros Vidal
Dept. de Ciência da Comp.
Universidade de Brasília -
Brasília - DF
fbvidal@unb.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta a modelagem e a implementação de um simulador baseado em agentes, aqui denominado Demiourgos, que permite observar o processo de evolução da camuflagem de organismos virtuais na presença de seus predadores. O estudo de caso desenvolvido foi inspirado na pesquisa de John A. Endler, onde foi observado como a seleção natural induz mudanças no padrão de cores nos peixes lebistes (*Poecilia reticulata*). O comportamento dos agentes foi modelado a partir de pesquisa por observação. Os resultados preliminares mostram que o modelo de agente proposto atinge níveis satisfatórios quando comparado ao trabalho utilizado como referência. A ferramenta de simulação pode principalmente ser utilizada por pesquisadores que precisam trabalhar com diversas variáveis para compreensão de modelos complexos de interação entre seres vivos, podendo auxiliar na tomada de decisão sobre problemas de conservação de espécies.

Palavras-Chave

Demiourgos, Sistemas Multiagentes, Camuflagem, Charles Darwin, Seleção Natural, Lebistes.

ABSTRACT

This paper presents the modeling and the implementation of an agent-based simulation tool, here called Demiourgos, that allows the observation of the camouflage evolution in virtual organisms that are put together with their predators. The case study developed was inspired by John A. Endler's research, in which he observed how natural selection induces color pattern changes in the lebistes fishes (*Poecilia reticulata*). The agents behavior model was defined through observation research. The preliminary results show that the proposed agent-based model achieves satisfactory levels in relation to the original work used as reference. The simu-

lation tool can be mainly used by researchers that need to work with multiple variables to understand complex models of living beings interactions, helping the process of decision making about species conservation issues.

Categories and Subject Descriptors

I.2.11 [Distributed Artificial Intelligence]: Multiagent systems

General Terms

Experimentation, Algorithms

Keywords

Demiourgos, Multiagent Systems, Camouflage, Charles Darwin, Natural Selection, Lebistes.

1. INTRODUÇÃO

O conjunto de características que permite a um organismo permanecer indistinto do ambiente em que vive chama-se camuflagem e pode ocorrer pela cor, forma ou tipo de cobertura do organismo [1]. O desenvolvimento da camuflagem tem por objetivo principal garantir a sobrevivência em um ambiente repleto de predadores. No livro "O Maior Espetáculo da Terra", o cientista Richard Dawkins [2] exemplifica a evolução da camuflagem, apresentando uma pesquisa de John A. Endler a respeito de lebistes (*Poecilia reticulata*) [3], um peixe de água doce popularmente criado em aquários. Endler verificou que populações desse tipo de peixe apresentam colorações diferentes dependendo das características do fundo do rio onde vivem e da presença em maior ou menor quantidade de predadores no ambiente.

Em sua obra "A Origem das Espécies", Charles Darwin [4] descreve como os seres vivos podem evoluir a partir da adaptação pela seleção natural, processo que permite aos mais bem adaptados sobreviverem e passarem adiante suas características [5]. Tomando-se como ponto de partida o trabalho de Charles Darwin, o presente artigo tem por objetivo definir um modelo de simulação que permite observar o processo de evolução da camuflagem de organismos na presença de seus predadores, semelhante ao que foi observado por John A. Endler em sua pesquisa com lebistes.

A ferramenta de simulação desenvolvida (Demiourgos¹), baseada em sistemas multiagentes, pode ser utilizada por pesquisadores que precisam trabalhar com múltiplas variáveis para estudar

¹Do grego, "trabalhador para o povo". No pensamento de Platão, trata-se de um artesão responsável por dar forma e manter o universo físico.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, to republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

SBSI 2016, May 17th-20th, 2016, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil
Copyright SBC 2016.

modelos complexos de evolução de camuflagem a partir da interação entre presas e predadores. Pode principalmente auxiliar na avaliação de situações atuais e projeções futuras, fornecendo subsídios para decisões relacionadas à conservação de espécies. O modelo presa-predador proposto pode ainda ser utilizado como uma ferramenta para solução de problemas não necessariamente relacionados à evolução das espécies, mas sim a uma classe de problemas caracterizada pela escassez de recursos, o que induz seus componentes a competirem entre si. Por fim, como efeito secundário, o simulador pode ser utilizado por professores de biologia em aulas sobre a Teoria da Evolução das Espécies, o que lhe atribui também um caráter didático.

O restante do artigo possui a seguinte estrutura: na Seção 2 são apresentados os principais conceitos e trabalhos relacionados a agentes e camuflagem; na Seção 3 apresenta-se a ferramenta e o modelo proposto, seguida pela Seção 4, onde os resultados obtidos pelas simulações são compilados; na Seção 5 são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

2. AGENTES E CAMUFLAGEM

Um agente pode ser definido como uma entidade capaz de perceber o ambiente através de sensores e interagir com este utilizando atuadores [6]. A simulação baseada em agentes é uma abordagem que utiliza simulação computacional e a tecnologia de agentes para investigar sistemas não lineares. Várias áreas de ciências vêm utilizando este tipo de simulação com o objetivo de compreender e prever de forma qualitativa o comportamento de sistemas complexos. Podemos citar alguns estudos nas áreas de sistemas urbanos [7], ecologia [8] e economia [9], enfim, diversos domínios de conhecimento que envolvam aspectos sociais, socioeconômicos, de engenharia, educação, ambientais, entre outros.

Várias plataformas vêm sendo desenvolvidas utilizando a abordagem de modelagem e simulação baseada em agentes para uso em problemas científicos nos mais variados domínios. Algumas dessas plataformas, como a NetLogo versão 5.0 e a ReLogo (componente de Repast), foram recentemente avaliadas com uma série de pseudo-modelos para efeito de comparação de desempenho [10]. Em um trabalho anterior [11], uma comparação bem ampla também foi realizada.

Conforme apresentado, a abordagem de agentes possui uma ampla diversidade de aplicação com uma gama de modelos de múltiplos propósitos despertando interesse da comunidade científica [12, 13, 14, 15]. No entanto, dentre os diversos usos da abordagem com agentes, não encontramos trabalhos que envolvam o estudo da evolução da camuflagem de seres vivos em um modelo presa-predador. Na área de Biologia, com simulação de seres vivos desenvolvido no arcabouço denominado *Agent-Object-Relationship (AOR)*, desenvolvido em Java pela *Brandenburg University of Technology* [16], podemos citar o *Bugs Growing in Grid Space* [11]. Trata-se de um modelo simples com insetos movendo-se randomicamente em um grid de simulação, se alimentando, crescendo, reproduzindo, até morrer.

Trabalhos envolvendo a camuflagem podem ser encontrados, em sua maioria, relacionados apenas à dificuldade de se detectar os indivíduos [17]. Não foram identificados trabalhos voltados à modelagem da evolução da camuflagem de seres vivos, decorrente da interação entre presas e predadores e que aplica o paradigma de sistemas multiagentes. A utilização da camuflagem permite que o organismo sobreviva, aumentando, desta forma, a probabilidade de perpetuação de sua espécie. Trata-se de um efeito resultante da seleção natural, e no caso em estudo ocorre predominantemente a partir da relação entre a cor do ambiente e a cor do indivíduo [4], além da maior ou menor presença de predadores. Sendo assim, a abordagem multiagente pode revelar-se extremamente adequada ao estudo dessa característica (camuflagem), por oferecer uma série de paradigmas que possibilitam a construção de simulações computacionais que refletem esse tipo de interação.

3. MODELO PROPOSTO: DEMIOURGOS

Neste trabalho utilizou-se a pesquisa por observação através do estudo dos seres vivos envolvidos, mais especificamente a espécie *Poecilia reticulata* de John A. Endler. Através do estudo e ob-

servação foram definidos os atributos utilizados na caracterização do ambiente e dos agentes, bem como dos métodos de interação entre eles.

Nesta seção serão descritos primeiramente os atributos do ambiente de simulação. Na sequência será descrita a composição do modelo de agentes (presas e predadores), com seus diversos atributos gerais e específicos, bem como seus respectivos comportamentos. Todas as definições apresentadas compõem o sistema de simulação que possibilita a realização de experimentos onde seres vivos virtuais evoluem, adquirindo semelhança com o ambiente em que vivem por meio do processo de camuflagem.

3.1 Atributos do Ambiente

O ambiente de simulação é composto por células que formam um *grid*. Esse *grid* possui o atributo *dimensão*, que define a quantidade de células horizontais e verticais, e o atributo *cor*, que é definido por três valores inteiros entre 0 e 255. Esses valores representam as intensidades de vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*) do ambiente, no espaço de cores RGB [18].

3.2 Atributos Gerais dos Agentes

Os atributos gerais dos agentes são atributos comuns a agentes presa e predador e serão detalhados nesta seção, incluindo: *código*, *idade*, *categoria* (fase de vida), *cor*, *sexo*, *posição*, *velocidade*, *tamanho*, *visão* e *área de interesse* (raio de deslocamento). Cada criatura biológica é representada por um agente, tendo um *código* identificador único. O *código* é definido ordinalmente de acordo com a criação de um novo indivíduo.

3.2.1 Idade

A *idade* é simulada em unidades de vida (*uv*). Para efeito de simulação, uma *uv* pode ser associada a um tempo real, e.g., uma *uv* pode representar um segundo. A *idade* de um organismo define a *categoria* em que ele se encontra. Cada agente tem um limite de vida, definido pelo atributo *idade máxima*, que representa a idade de morte. Ou seja, quando a *idade* alcança *idade máxima*, o agente morre. O valor da *idade máxima* para cada indivíduo é escolhido aleatoriamente dentro de um intervalo ao redor da expectativa de vida da população.

3.2.2 Categoria

Os agentes presa e predador são classificados segundo sua *idade* em *categorias* específicas ou fases da vida, conforme apresentado na Tabela 1. Inicialmente, quando nasce, o agente pertence à *categoria* 1, mas com o tempo de vida passa sucessivamente da *categoria* 1 à 4, para depois morrer. A *categoria* influencia alguns outros atributos, e.g., agentes na *categoria* 1 não poderão procriar, por serem muito jovens (período pré-reprodutivo). O mesmo ocorre com os agentes na *categoria* 4, por estarem na fase senil (período pós-reprodutivo) [19].

Tabela 1: Categorias das presas e predadores.

Categoria	Fase da vida	% da vida	
		Presa	Predador
1	Infância	10% iniciais	18% iniciais
2	Juventude	próximos 40%	próximos 23%
3	Adulta	próximos 40%	próximos 24%
4	Velhice	10% finais	35% finais

A duração de vida de cada agente é medida em *unidades de vida*. Um agente presa que tem uma expectativa de vida de 100 *uv*, permanece na *categoria* 1 de 0 até 10 *uv*. De 11 a 50 *uv*, ela permanece na *categoria* 2. De 51 a 90 *uv*, ela se encontra na *categoria* 3 e de 91 até sua morte em 100 *uv* ela encontra-se na *categoria* 4. Já um agente predador que tem uma expectativa de vida de 100 unidades de vida (*uv*), permanece da *categoria* 1 até 18 *uv*. De 19 a 41 *uv*, ela permanece na *categoria* 2. De 42 a 65 *uv*, ela se encontra na *categoria* 3 e de 66 até sua morte em 100 *uv* ela se encontra na *categoria* 4. A idade de morte de cada agente varia e é definida no atributo *idade máxima* (vide Seção 3.2.1).

O valor de *categoria* influencia também os atributos *velocidade* e *visão* descritos a seguir.

3.2.3 Cor

Assim como o ambiente, as criaturas também possuem cores representadas no espaço de cores *RGB*. É importante ressaltar que a diferença entre os valores da cor de uma presa e do ambiente vai definir o grau de camuflagem do agente conforme demonstrado na Equação 1:

$$D = |r_p - r_a| + |g_p - g_a| + |b_p - b_a|, \quad (1)$$

onde, r_p , g_p e b_p são as componentes de cor da presa, r_a , g_a e b_a são as componentes de cor do ambiente e D é a soma das diferenças absolutas entre as cores da presa e do ambiente. Uma presa está camuflada quando o valor de D for menor que um determinado *nível de camuflagem* definido como parâmetro da simulação (Tabela 4). A *cor* de um novo agente é definida pela média aritmética das *cores* dos pais no momento de seu nascimento e permanece constante até o fim de sua vida. No início da simulação cada agente recebe uma *cor* aleatória.

3.2.4 Sexo

Considerando o processo de reprodução para dar continuidade à espécie, os agentes podem ter parceiros sexuais [5]. O *sexo* pode ser definido como masculino ou feminino. O valor desse parâmetro é escolhido aleatoriamente quando o agente é criado. O *sexo* restringe a validade dos atributos *gestação* e *resguardo*, a serem descritos mais adiante, válidos apenas para criaturas do sexo feminino.

3.2.5 Posição

Cada agente está sempre posicionado em uma das células do *grid* de simulação. Por isso, guarda também sua própria *posição* horizontal e vertical. A *posição* de um novo agente é definida pela *posição* da mãe no momento do nascimento e pode ser modificada a cada deslocamento. Contudo, no início da simulação cada agente recebe uma *posição* aleatória.

3.2.6 Velocidade

A *velocidade* é um valor inteiro calculado no decorrer da vida de um agente de acordo com a *categoria* em que se encontra e determina sua *velocidade* de deslocamento. Pode variar entre 0 e 9 de acordo com a Tabela 2. Nas *categorias* 1 e 4, o valor da *velocidade* é sorteado entre 0 e 3. Já nas *categorias* 2 e 3, o valor da *velocidade* é sorteado entre 4 e 9. Esses valores de *velocidade* são utilizados como parâmetros de uma equação que determina um atraso temporal no deslocamento das criaturas, de acordo com a Equação 2.

Tabela 2: Grau de *velocidade* por *categoria*.

Categoria	Intervalo de sorteio
1	Entre 0 e 3
2	Entre 4 e 9
3	Entre 4 e 9
4	Entre 0 e 3

3.2.7 Tamanho

O *tamanho* é o valor do raio de cada agente, representado graficamente no ambiente de simulação por um círculo com o centro em sua posição. O valor do *tamanho* pode variar de acordo com o tipo de agente (presa ou predador). Na versão atual do modelo, o tamanho não tem influência no comportamento dos agentes, servindo apenas para diferenciar visualmente presas de predadores.

3.2.8 Visão

A *visão* é representada por uma circunferência que indica os limites da região circular dentro da qual o agente está capacitado a detectar possíveis parceiros, ameaças (no caso das presas) ou alvos (no caso dos predadores). Varia de acordo com a *categoria*, pois

criaturas jovens (*categoria* 1) ou velhas (*categoria* 4) não possuem a *visão* tão aguçada quanto as criaturas que se encontram nas *categorias* 2 ou 3. A Tabela 3 apresenta a porcentagem da *visão* utilizada por um agente de acordo com a *categoria* em que se encontra.

Tabela 3: Porcentagem do sentido por *categoria*.

Categoria	% do sentido
1	50%
2	100%
3	100%
4	60%

Se o valor predefinido para os sentidos de uma criatura for, por exemplo, igual a 100, e essa criatura se encontra na *categoria* 1, ela só pode detectar indivíduos a uma distância euclidiana de 50 *pixels* ou menos. Quando passar para a *categoria* 2, será capaz de utilizar 100% dos seus sentidos, sendo capaz de perceber outros elementos dentro de um raio de 100 *pixels*.

3.2.9 Área de Interesse

A direção do *movimento padrão* de um agente é definido por um foco escolhido aleatoriamente no interior da coroa circular (*área de interesse*) definida por círculos concêntricos de raios R_1 e R_2 , sendo $R_1 > R_2$. Após definido o foco de interesse de um agente, caso não seja interrompido por um fator externo, aproxima-se dele célula por célula. Quando o agente atinge o *foco de deslocamento*, um novo foco é escolhido a partir da sua posição atual. A Fig. 1 ilustra os parâmetros que definem a *área de interesse* de um organismo.

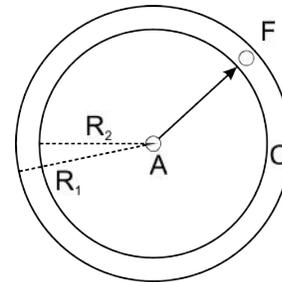


Figura 1: *Área de interesse* de um agente: A - posição atual; R_1 raio maior; R_2 raio menor; C - coroa circular determinada por R_1 e R_2 ; e F - Foco de deslocamento escolhido aleatoriamente dentro da coroa circular.

3.3 Atributos Específicos dos Agentes

Quando as presas, por meio de sua *visão*, percebem a presença de um predador, elas marcam esse predador guardando seu código. Uma presa sempre vai guardar o código do último predador visto, como forma de ameaça. O *código da ameaça* não é utilizado na presente versão da simulação, mas no futuro auxiliará a presa a definir sua rota de fuga. Os predadores precisam se alimentar de presas para continuarem vivos. Quando eles passam um período sem se alimentarem, denominado *tempo de fome*, morrem de fome. Assim como as presas guardam o código do predador mais recentemente visto, os predadores guardam o código da presa mais próxima como alvo. Os predadores, então, seguem sua presa alvo até a alcançarem e se alimentarem dela ou até que a presa consiga fugir de seu raio de *visão*. Quando conseguem se alimentar, passam um período denominado *tempo de saciedade* em que ficam satisfeitos e não procuram presas alvo. Quando esse tempo acaba, o *tempo de fome* é reiniciado, indicando a necessidade do predador caçar.

Os agentes também guardam na memória o *código do parceiro* mais recentemente visto por eles, sendo atualizado sempre que uma criatura do mesmo tipo, mas de sexo oposto, fértil e apto a procriação é detectado. O *código do parceiro* é utilizado no momento em que uma fêmea vai dar à luz, pois as características do descendente devem ser herdadas dos pais. Quando o agente fêmea fica gestante não pode se acasalar durante esse período. Quando o filhote nasce, a mãe permanece impossibilitada de se reproduzir por um pequeno período denominado *resguardo*. Apenas quando o período de resguardo acaba, a fêmea torna-se novamente apta para procriar.

3.4 Comportamentos

Além do ambiente e dos agentes presa e predador, o sistema conta com um gerente que define alguns dos comportamentos gerais da simulação. O ambiente apresenta um comportamento estático. Uma vez que o gerente o inicia com uma determinada *cor* e *dimensão*, os valores que esses atributos recebem permanecem constantes ao longo de toda a simulação. Sendo assim, serão detalhados apenas os comportamentos do gerente e dos agentes presa e predador.

3.4.1 Gerente de Simulação

A simulação tem início quando o ambiente é criado pelo gerente. Inicialmente o *grid* é definido a partir das *dimensões* e *cor* especificados em um arquivo de configuração. Nesse mesmo arquivo de configuração, estão as quantidades de presas e predadores, machos e fêmeas iniciais da simulação. O gerente os cria, de acordo com a quantidade predefinida de cada sexo, e os posiciona aleatoriamente no *grid*. Ainda no arquivo de configurações estão os valores dos atributos *tamanho*, *idade média* (utilizada para calcular a idade máxima de cada criatura), *visão* e *área de interesse* iniciados logo após a criação de cada criatura. No caso dos predadores inicia-se também o atributo *fome*.

Além de inicializar esses atributos com as informações indicadas, ao se criar uma nova criatura, o gerente inicializa também os atributos *cor* e *idade*. A *cor* é definida pela média aritmética das *cores* do pai e da mãe e a *idade* é inicializada com o valor 0 (zero), exceto no início da simulação, quando as *cores* das criaturas iniciais e as *idades* são definidas aleatoriamente. Outra função do gerente é calcular a média das cores das presas e contabilizar a quantidade de agentes. Esses valores são calculados e registrados em relatórios de simulação gerados de 5 em 5 segundos, tornando possível a visualização da evolução da camuflagem das presas. No entanto, este é um parâmetro que pode ser ajustado conforme a necessidade de observação.

3.4.2 Agentes Presas e Predadores

Após a criação de um agente seu movimento é iniciado. Para que esse movimento aconteça são realizadas diversas verificações e eventos que podem, ou não, influenciá-lo. Quando estimulado por um fator externo, o movimento de um agente é definido pela situação atual. Isso acontece quando ele está disponível para procriação e encontra um outro agente do mesmo tipo também disponível, mas de sexo diferente, aproximando-se com o objetivo de procriar. Outro fator que influencia no movimento dos agentes, mais precisamente dos predadores, é a presença de alvos. Quando uma presa que não está camuflada no ambiente, é detectada por um predador, o predador vai em sua direção a fim de se alimentar, ignorando seu *movimento padrão*.

O *movimento padrão* de um agente é o movimento utilizado quando ele não é afetado por um fator externo, sejam parceiros, alvos ou ameaças. Esse movimento é definido com o auxílio do atributo *área de interesse*. A cada passo ou ciclo de movimento, é verificado se a criatura está na mesma posição do seu parceiro, para que a procriação aconteça. A cada movimento, também é verificado se a criatura envelheceu, ou seja, se passou mais um segundo de tempo de vida. Quando a *idade* da presa aumenta, é verificado se a *categoria* é alterada e, caso seja fêmea, se a gestação chegou ao fim para gerar uma nova criatura.

O intervalo de tempo entre uma iteração (ou ciclo de movimento) e outro é definido pela Equação 2:

$$t = Fdm - v \left(10 \times \frac{Fdm}{100} \right) \quad (2)$$

onde, t é o tempo de espera entre cada movimento, Fdm é o fator de atraso máximo predefinido e v é o grau de velocidade do agente, escolhida de acordo com a Tabela 2. Por exemplo, se $Fdm = 1$ segundo e $v = 5$, então $t = 0.5$ segundo. Ou seja, o indivíduo irá se movimentar a uma velocidade de 2 pixels por segundo.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foram realizados diversos experimentos para validação do modelo proposto. Dentre eles, quatro experimentos foram selecionados, considerando-se diferentes configurações iniciais de ambiente e populações de presas e predadores. A ferramenta de simulação foi toda programada em linguagem de programação C++ e seu aspecto visual foi projetado com o auxílio da biblioteca gráfica WinBGIm [20]. As configurações para cada experimento estão detalhadas na Tabelas 4 (constantes ao longo de todos experimentos) e na Tabela 5 (variam a cada experimento).

Os três primeiros experimentos estão sintetizados nas Figuras 2 a 4. É possível observar o processo de evolução da camuflagem das presas². No estado inicial da simulação, presas e predadores têm suas cores inicializadas aleatoriamente. Outras características também são inicializadas nessa fase, mas vamos nos concentrar especificamente na cor, uma vez que essa é a característica que mais se evidencia no processo de camuflagem. No estado final da simulação, as presas apresentam colorações semelhantes à do ambiente e os predadores morreram de fome. Os círculos maiores representam os predadores e os menores representam as presas. Predadores machos e fêmeas têm bordas verdes e amarelas, enquanto presas machos e fêmeas têm bordas azuis e vermelhas, respectivamente.

Foram computados ao longo do tempo a quantidade de presas e predadores de ambos os sexos, além da média das componentes RGB das cores das presas. Nos experimentos 1 a 3, onde a camuflagem evoluiu conforme o esperado, observa-se um aumento inicial do número de predadores e uma diminuição do número de presas. Isso ocorre porque as presas têm suas cores iniciadas aleatoriamente e, por isso, carecem de camuflagem. Com o tempo, as presas que apresentam cores mais próximas às do ambiente passam a gerar descendentes melhor camuflados. A partir de então, a quantidade de predadores começa a diminuir em função da dificuldade de se encontrar alimento e a quantidade de presas começa a aumentar. Esse resultado pode ser observado nas Figuras 2(c) a 4(c). Pode-se observar, também, que a média das componentes RGB das cores das presas converge para a cor do ambiente, conforme mostram as Figuras 2(d) a 4(d).

No quarto experimento, a camuflagem das presas não evoluiu para a cor do ambiente. O resultado do experimento 4 é apresentado na Figura 5. A quantidade de predadores permanece praticamente constante e a quantidade de presas aumenta consideravelmente. Isso faz com que a camuflagem não seja necessária e a coloração da população de presas permaneça tão exuberante quanto no início da simulação.

5. CONCLUSÃO

Foi apresentada uma ferramenta de simulação, aqui denominada Demiourgos, baseada em agentes que permite observar alguns dos princípios da Teoria da Evolução das Espécies pela seleção natural proposta por Charles R. Darwin. As simulações permitiram a observação do comportamento de presas e predadores, bem como o processo de evolução da camuflagem das presas, confirmando algumas das prerrogativas descritas por John A. Endler [3].

A ferramenta de simulação foi concebida de forma a permitir que o modelo seja facilmente transposto para outros cenários. Além disso, é possível incorporar um conjunto mais amplo de informações a respeito do ambiente e do comportamento dos agentes. Observou-se que o ajuste dos valores iniciais dos parâmetros

²Vídeo-exemplo: <http://bit.ly/1zWeGj8>.

Tabela 4: Parâmetros fixos utilizados nos experimentos.

Parâm.	Descrição	Valor
QCH	Qdade. de células horizontais do <i>grid</i> simulação	500
QCV	Qdade. de células verticais do <i>grid</i> de simulação	500
TPS	Tamanho da presa	4
TPD	Tamanho do predador	10
IMPSM	Idade média máxima das presas macho	1000
VIMPSM	Variação da idade média máxima - presa macho	15%
IMPSF	Idade média máxima das presas fêmea	1150
VIMPSF	Variação da idade média máxima das presas	15%
IMPDM	Idade média máxima dos predadores macho	1000
VIMPDM	Variação da idade média máxima - predador macho	15%
IMPFD	Idade média máxima dos predadores fêmea	1150
VIMPFD	Variação da idade média máxima - predador fêmea	15%
APS	Área de interesse das presas	30
VAPS	Variação da área de interesse das presas	10
APD	Área de interesse dos predadores	50
VAPD	Variação da área de interesse dos predadores	10
TGPS	Tempo de gestação das presas	10
TGPD	Tempo de gestação dos predadores	10
TRPS	Tempo de resguardo das presas	10
TRPD	Tempo de resguardo dos predadores	10
SPS	Valor máximo dos sentidos das presas	100
SPD	Valor máximo dos sentidos dos predadores	100
FDMP	Fator atraso máximo das presas	50
FDPD	Fator atraso máximo dos predadores	50
TSPD	Tempo de saciedade dos predadores	5
TFPD	Tempo de fome dos predadores	100
NC	Nível de camuflagem	50

Tabela 5: Parâmetros variáveis utilizados nos experimentos.

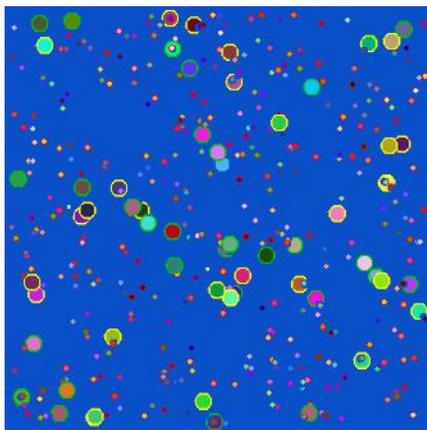
Parâm.	Descrição	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
CR	Componente R da cor do ambiente	10	50	10	110
CG	Componente G da cor do ambiente	80	150	20	30
CB	Componente B da cor do ambiente	200	230	30	220
QPSM	Quantidade inicial de presas macho	200	200	300	200
QPSF	Quantidade inicial de presas fêmea	200	200	300	200
QPDM	Quantidade inicial de predadores macho	30	50	50	20
QPFD	Quantidade inicial de predadores fêmea	30	50	50	20

de simulação tem um grande impacto no resultado da simulação, devendo os mesmos serem observados com cautela durante a construção do modelo pelo especialista. Por exemplo, para que um grupo de agentes possa prosperar e ter uma determinada característica selecionada pelo ambiente, os ajuste desses valores devem ser adequados, caso contrário pode-se observar a não evolução ou a extinção como resultado da simulação.

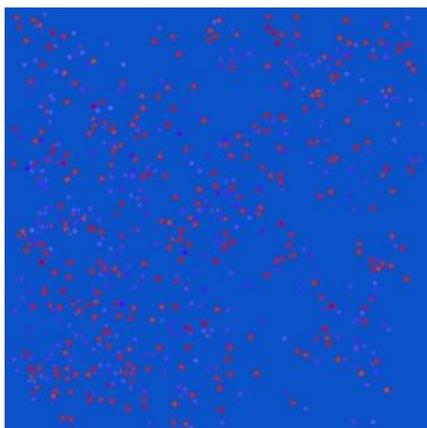
Para trabalhos futuros pretende-se implementar conjuntos de atributos, sob forma de bibliotecas comuns de espécies, para permitir a utilização por pesquisadores e interessados. Todas estas bibliotecas podem ser desenvolvidas a partir de uma estrutura comum de dados a fim de construir um *benchmark* de avaliação, seguindo atributos padrões. Outra proposta de trabalho futuro é a incorporação na simulação de conjuntos hierárquicos e concorrentes presa-predador, e.g., a ovelha é presa do lobo, o homem é presa do lobo, entretanto a ovelha é presa do homem.

6. REFERÊNCIAS

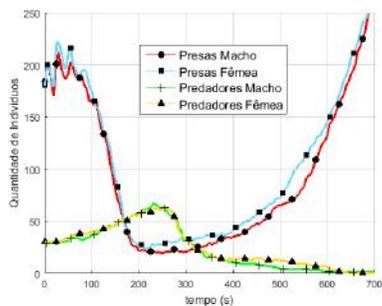
- [1] *Biologically inspired guidance for motion camouflage*, volume 3, 2004.
- [2] Richard Dawkins. *O Maior Espetáculo da Terra - As Evidências da Evolução*. Companhia das Letras, Sao Paulo, 2009.
- [3] John A. Endler. Natural selection on color patterns in poecilia reticulata. *Evolution*, 8-34:76–91, 1980.
- [4] C. Darwin. *Origem das Espécies*, A. Clássicos de ouro ilustrados. Ediouro Publicações, 2004.
- [5] Charles Darwin. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. John Murray, London, 1859.
- [6] S.J. Russell and P. Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall series in artificial intelligence. Prentice Hall, 2010.
- [7] Andrew Crooks, Christian Castle, and Michael Batty. Key challenges in agent-based modelling for geo-spatial simulation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(6):417–430, 2008.
- [8] Nadine Schieritz and Peter M. Milling. Modeling the forest or modeling the trees a comparison of system dynamics and agent-based simulation. In *Proceedings of the 21st International Conference of the System Dynamics Society*, 2003.



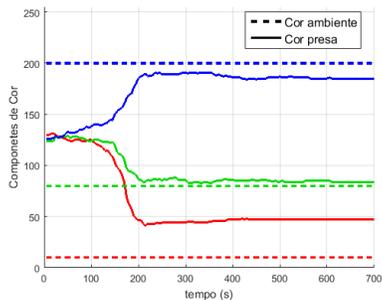
(a) Estado inicial da simulação.



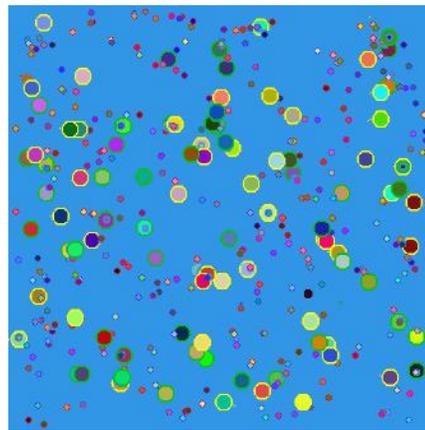
(b) Estado final da simulação.



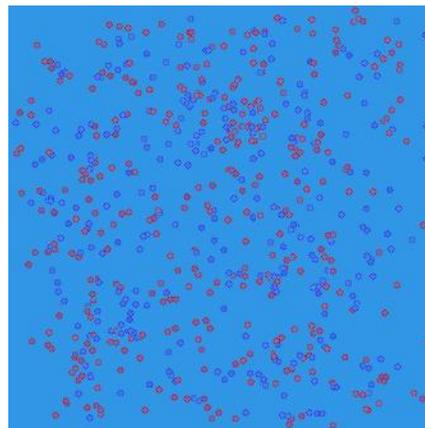
(c) Evolução das populações de presas e predadores.



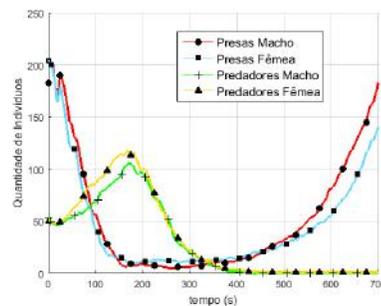
(d) Evolução das cores das presas.



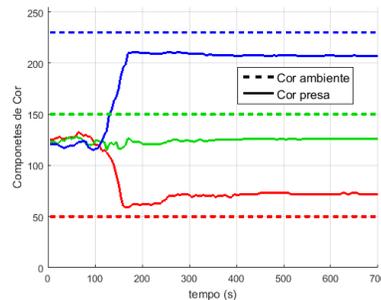
(a) Estado inicial da simulação.



(b) Estado final da simulação.



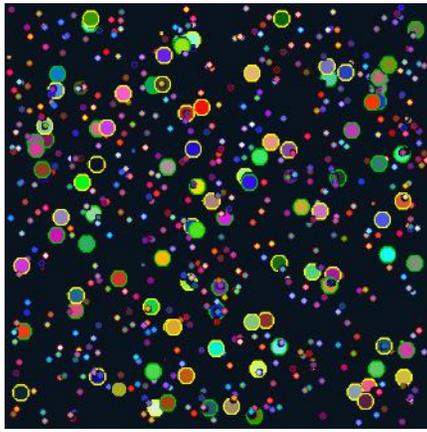
(c) Evolução das populações de presas e predadores.



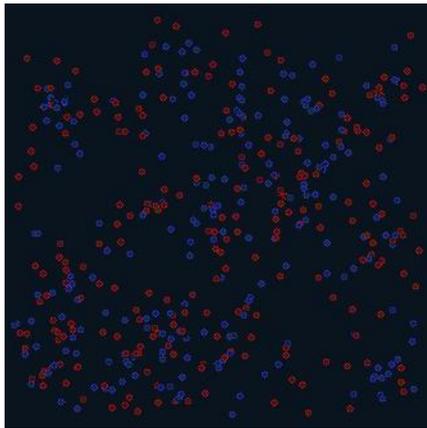
(d) Evolução das cores das presas.

Figura 2: Experimento 1. A camuflagem das presas converge para a cor do ambiente.

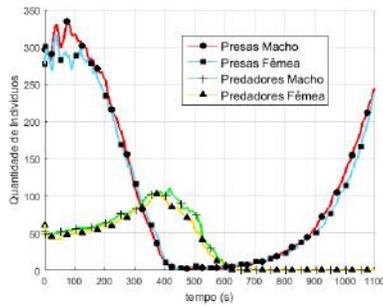
Figura 3: Experimento 2. A camuflagem das presas converge para a cor do ambiente.



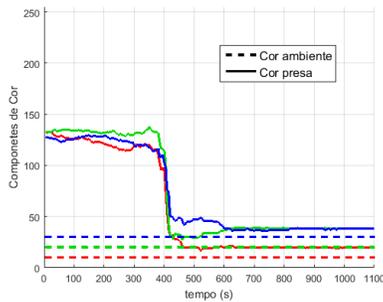
(a) Estado inicial da simulação.



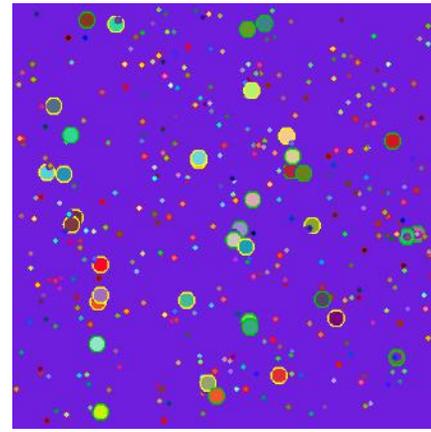
(b) Estado final da simulação.



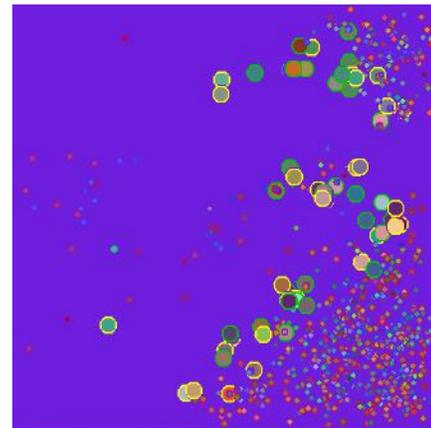
(c) Evolução das populações de presas e predadores.



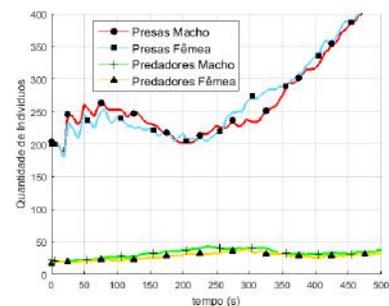
(d) Evolução das cores das presas.



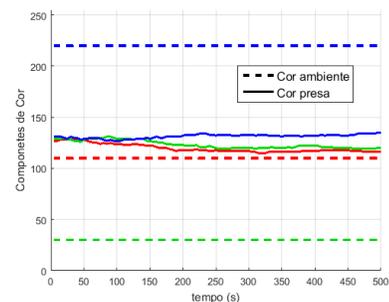
(a) Estado inicial da simulação.



(b) Estado final da simulação.



(c) Evolução das populações de presas e predadores.



(d) Evolução das cores das presas.

Figura 4: Experimento 3. A camuflagem das presas convergem para a cor do ambiente.

Figura 5: Experimento 4. A camuflagem das presas não converge para a cor do ambiente.

- [9] Leigh Tesfatsion. Agent-based computational economics: Modeling economies as complex adaptive systems. *Information Sciences*, 149:263–269, 2003.
- [10] Steven L. Lytinen and Steven F. Railsback. The evolution of agent-based simulation platforms: A review of netlogo 5.0 and relogo. In *Proceedings of the 4th international symposium on agent-based modeling and simulation (21st European Meeting on Cybernetics and Systems Research [EMCSR 2012]*, 2012.
- [11] Steven F. Railsback, Steven L. Lytinen, and Stephen K. Jackson. Agent-based simulation platforms: Review and development recommendations. *Simulation*, 82(9):609–623, September 2006.
- [12] L.R.G. Carrillo, W.J. Russell, J.P. Hespanha, and G.E. Collins. State estimation of multiagent systems under impulsive noise and disturbances. *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, 23(1):13–26, 2015.
- [13] M. Eriksson, M. Armendariz, O. Vasilenko, A. Saleem, and L. Nordstrom. Multi-agent based distribution automation solution for self-healing grids. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, PP(99):1–1, 2015.
- [14] N. Spanoudakis and P. Moraitis. Engineering ambient intelligence systems using agent technology. *Intelligent Systems, IEEE*, PP(99):1–1, 2015.
- [15] C. Yu, M. Zhang, F. Ren, and G. Tan. Multiagent learning of coordination in loosely coupled multiagent systems. *Cybernetics, IEEE Transactions on*, PP(99):1–1, 2015.
- [16] Gerd Wagner. Aor modelling and simulation: Towards a general architecture for agent-based discrete event simulation. In *Agent-Oriented Information Systems*, volume 3030. Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [17] D. Conte, P. Foggia, G. Percannella, F. Tufano, and M. Vento. An algorithm for detection of partially camouflaged people. In *Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2009. AVSS '09. 6th IEEE International Conference on*, Sept 2009.
- [18] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. *Digital image processing*. Prentice Hall, 2008.
- [19] Colin R Townsend, Michael Begon, and John L Harper. *Fundamentos em ecologia*. Artmed Editora, 2009.
- [20] Michael Main. The winbgim library - borland bgi graphics and mouse for windows applications. website: <http://winbgim.codecutter.org/>, February 2016.