

# CRIATURAS ARTIFICIAIS MODELADAS ATRAVÉS DE MAPAS COGNITIVOS FUZZY DINÂMICOS

MÁRCIO MENDONÇA<sup>1</sup>, IVAN ROSSATO CHRUN<sup>1</sup>, MARCO ANTÔNIO FERREIRA FINOCCHIO<sup>1</sup>, LÚCIA VALÉRIA RAMOS ARRUDA<sup>2</sup>.

1. *Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Av. Alberto Carrazai 1640, CEP 86300-000, Cornélio Procópio, PR, BRASIL.  
E-mails: mendonca@utfpr.edu.br, ivanchrun@gmail.com, mafinocchio@utfpr.edu.br*

2. *Laboratório de Automação e Sistema de Controle Avançado (LASCA), Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Av. Sete de Setembro 3165, CEP 80230-901, Curitiba, PR, BRASIL.  
E-mails: lvarruda@utfpr.edu.br*

**Abstract**— This paper presents a model of life artificial based on dynamic fuzzy cognitive maps (DFCM). The dynamic fuzzy cognitive maps are a fuzzy graph in which the edges of the graph is updated dynamically according to the situation you want to model. Besides the use DFCM, the proposed model is inspired by cognitive architectures that target a hierarchical management functions with varying levels of functionality and different behaviors of artificial creatures. This management considers actions from low-level to the highest level of organization and planning. Initial results of animations in a 2-D environment are presented validating the method.

**Keywords**— Artificial Life, Dynamic Fuzzy Cognitive Maps, Artificial Creatures, Cognitive Model, Computer Animation.

**Resumo**— Este trabalho apresenta um modelo de vida artificial baseado em mapas cognitivos fuzzy dinâmicos (DFCM). Os mapas cognitivos fuzzy dinâmico é um grafo fuzzy em que as arestas do grafo são atualizadas dinamicamente de acordo a situação que se deseja modelar. Além do uso de DFCM, o modelo proposto é inspirado em arquiteturas cognitivas que visam um gerenciamento hierárquico de funções com vários níveis de funcionalidade e diferentes comportamentos de criaturas artificiais. Este gerenciamento considera desde ações de baixo nível até o nível mais alto de organização e planejamento. Resultados iniciais de animações em um ambiente 2-D são apresentados validando o método.

**Palavras-chave**— Vida Artificial, Mapas Cognitivos Fuzzy Dinâmicos, Criaturas Artificiais, Modelos Cognitivos, Animação Computacional.

## 1 Introdução

Vida Artificial é um tema recente de pesquisa que desperta interesse em áreas diversas tais que Ciência da Informação, Ciências da Vida e Ciência do Sistema (Xiaojuan et al, 2005).

Os Métodos de Vida Artificial (VA) buscam simular muitos dos processos naturais que caracterizam os seres vivos, como crescimento, reprodução, evolução, morfogênese, adaptação, percepção, aprendizagem e cognição (Bentley, 1999; Charniak e Mcdermott, 1985). Por outro lado, as simulações em um ambiente virtual contribuem para o estudo de diversos tópicos de VA por permitir através de sofisticados recursos visuais e interativos, uma melhor compreensão dos processos acima relacionados. Os personagens de um cenário de VA devem ser capazes de evoluir e se reproduzir artificialmente, aprender, se comunicar e tomar decisões de forma autônoma.

De acordo com a literatura, diferentes estratégias podem ser utilizadas para controlar uma criatura artificial. Algumas estratégias em particular, buscam inspiração na biologia, na cognição humana, ou até mesmo na cognição animal para estabelecer arquiteturas de controle de VA que são chamadas de manei-

ra genérica de arquiteturas cognitivas (Gudwin, 2011).

Neste contexto, tem-se por um lado, as abordagens do tipo *bottom-up*, que tentam criar processos emergentes que podem ser identificados com o conceito de vida (Langton, 1995). Também existem abordagens do tipo *top-down* que buscam se inspirar em criaturas vivas para modelar sistemas artificiais onde esta “vida artificial” possa ser sintetizada (Dean, Givan e Kim, 1998).

De modo resumido, pode-se contemplar dois objetivos, o desenvolvimento da criatura artificial utilizando modelos cognitivos através do D-FCM e/ou analisar comportamento global com variações do numero de criaturas ou personagens inseridas no ambiente virtual.

Este trabalho pretende explorar o desenvolvimento de criaturas artificiais utilizando modelos cognitivos desenvolvidos como mapas mapas cognitivos fuzzy dinâmicos. O foco será analisar comportamentos instintivos de criaturas em um ambiente marinho, como fome, necessidade de agrupamento e fuga, por exemplo, com diferentes personagens tais que golfinho, tubarão e pequenos peixes que vivem em um ambiente artificial. Em seguida desenvolvem-se modelos cognitivos através do uso do D-

FCM que se assemelhem ao comportamento real desses personagens abstraídos.

De um modo específico, esse artigo aborda o desenvolvimento de um sistema de navegação autônoma a partir da observação do comportamento dinâmico de criaturas artificiais em um meio ambiente virtual, tratando problemas com decisões sequenciais com múltiplos objetivos de forma hierárquica. O principal objetivo é simular o comportamento individual e coletivo das criaturas de forma autônoma (explorar, desviar obstáculos, coletar alimentos, agrupar e fuga de um predador natural) apenas com conhecimento de baixo nível e a ocorrência de eventos. Neste contexto, um algoritmo de aprendizagem por reforço é utilizado para uma sintonia (ajuste fino) do modelo cognitivo em tempo de navegação e/ou em tempo de execução.

Os atores ou criaturas artificiais simulados nesse trabalho foram inspirados no trabalho original de Kosko e Dickerson (1996), no qual, modelos cognitivos de pequenos peixes, golfinhos e tubarões foram inseridos em um ambiente artificial através de FCMs clássicos. Na construção de ambientes artificiais, o trabalho de Parenthoen, Reignier e Tisseau (2001) utiliza FCM aplicado em um Mundo Virtual para modelar diferentes níveis de agentes autônomos. Utiliza um FCM para modelar o comportamento das criaturas artificiais dentro de um ambiente simulado. Utilizando um sistema de 'sheepdog', ou cão-pastor, no qual, há um humano para ordenar e guiar o cão-pastor, e a função deste é guiar as ovelhas para um determinado lugar no ambiente virtual.

Esse trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 os fundamentos, conceitos de agentes inteligentes e FCM são apresentados. A seção 3 trata do desenvolvimento da arquitetura cognitiva e topologia do modelo baseado em D-FCM, além do método utilizado para o aprendizado por reforço. Na seção 4 são mostrados os resultados obtidos através de um ambiente virtual simulado. Finalmente, a seção 5 apresenta a conclusão e discussões sobre futuros trabalhos.

## 2 Mapas Cognitivos Fuzzy

Mapas cognitivos foram introduzidos inicialmente por Axelrod (1976) para representar palavras, idéias, tarefas ou outros itens ligados a um conceito central e dispostos radialmente em torno de um conceito. Axelrod desenvolveu também um tratamento matemático para estes mapas, baseados em teoria dos grafos e operações com matrizes. Estes mapas podem, portanto, ser considerado como um modelo matemático de "estrutura de crenças" de uma pessoa ou grupo, o que lhe permite inferir ou prever as consequências desta organização de idéias representadas no universo. Este modelo matemático foi adaptado por Kosko (1986) com a inclusão de incerteza através da lógica fuzzy, gerando um modelo generalizado de mapas cognitivos difusos ou *Fuzzy Cognitive Maps (FCM)*.

Como o original, o FCMs é um grafo direcional em que os valores numéricos são conjuntos *fuzzy* ou variáveis. Os "nós" são associados a conceitos linguísticos e representados por conjuntos *fuzzy*, cada "nó" está relacionado com um ou mais "nós" através de conexões. Cada uma destas conexões tem um valor numérico (ou peso), a qual representa uma variável *fuzzy* relacionada com a força entre conceitos através de causa-efeito. As conexões podem ser positivas (quando um conceito aumenta o outro também aumenta) ou negativas (quando um aumenta, o outro diminui) (Kok, 2009). Os conceitos de um mapa cognitivo pode ser atualizado através da interação com outros conceitos e com o seu próprio valor. Para descrever as relações sobre causa-efeito, uma rede Bayesiana (BN) ou modelo de equações estruturais pode ser apropriado, mas essas abordagens são limitadas, não permitindo feedback entre nós e o último é usado para confirmar uma hipótese sobre uma estrutura causal já existente, ao invés de aprender a partir de dados de observação. Mapas cognitivos *fuzzy* são uma metodologia relativamente nova para modelar as relações de causa-efeito de sistemas complexos (não-linear), onde a estrutura causal do sistema é representado como um grafo com sinal, direção e cíclico com feedback (Fletcher, Duong e Cios, 2005).

Neste contexto, a FCM usa uma representação de conhecimento estruturado através relações causais, sendo calculadas matematicamente a partir de operações de matrizes, ao contrário de muito de sistemas inteligentes, cujo conhecimento representado é baseada em regras do tipo se-então.

No entanto, devido a esta "rígida" representação do conhecimento por meio de grafos e operações matriciais, nos modelos de inferência baseados em FCM falta de robustez na presença de alterações dinâmicas, a priori, não modeladas (Chun-Mei, 2008). Para contornar este problema, este artigo desenvolve um novo tipo de FCM em que os conceitos e relações causais são dinamicamente inseridos no grafo. Deste modo, o modelo dinâmico do FCM é capaz de adquirir e usar o conhecimento dinamicamente de forma heurística. A proposta de D-FCM e sua aplicação na navegação autônoma será desenvolvido e validado nas seções seguintes.

Os FCMs tendem modelar a casualidade, não unicamente relações semânticas entre os conceitos (Sowa, 1991). Por modelar casualidade ao longo do tempo, ele facilita a exploração das implicações em modelos conceituais complexos com maior flexibilidade.

## 3 Desenvolvimento da Arquitetura de um D-FCM

O desenvolvimento do D-FCM para vida artificial parte da observação do problema e suas funcionalidades são acrescentadas de forma gradativa conforme análise de comportamento dinâmico de um ou mais agentes ou atores.

A tabela 1 mostra as ações a serem tomadas pelo agente de acordo com a estratégia de navegação. As ações de baixo nível são modeladas de acordo com as causas e efeitos da D-FCM. Já as ações deliberativas podem ocorrer de modo simultâneo independente da ocorrência de eventos. Além disso, as ações deliberativas são dispostas em camadas hierárquicas de modo semelhante à arquitetura já conhecidas na literatura, como por exemplo, a arquitetura de subsunção (Brooks, 1986).

Tabela 1. Ações a serem tomadas pelo agente.

Tipo de ação	Descrição da ação
Reativa (Baixo Nível)	Virar à esquerda
Reativa (Baixo Nível)	Virar à direita
Reativa (Baixo Nível)	Acelerar / Desacelerar
Deliberativas (Gerenciamento orientada eventos)	Andar Linha Reta
Deliberativas (Gerenciamento orientado a eventos)	Desviar obstáculos
Deliberativas (Gerenciamento orientado a eventos)	Coletar Alimento
Deliberativas (Ação de fuga)	Fugir do predador
Deliberativas (Memória interna)	Utilizar a própria memória para ponderar as ações de saída para agregar tendência de movimento na navegação da criatura artificial

A figura 1 mostra a visão geral da arquitetura utilizada no desenvolvimento da D-FCM. Ela é definida em seis blocos: Ambiente, sistema de percepção, sistema de estados interno, sistema comportamento, sistema aprendizado e sistema motor.

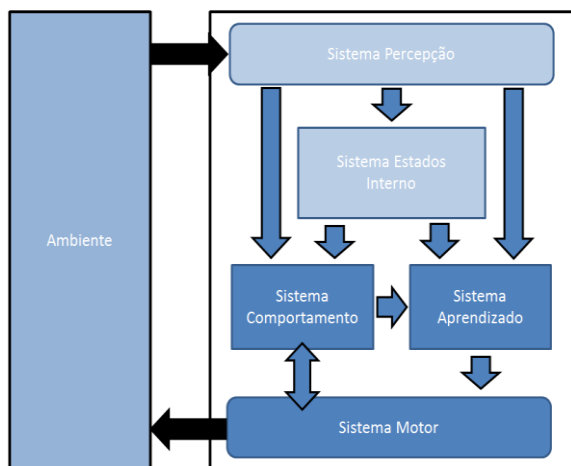


Figura 1 – Visão Geral da Arquitetura

O sistema de percepção consiste na percepção da criatura sobre ambiente, definindo qual estado de operação ou comportamento. Os estados modelados nesse trabalho são: comer, desviar de obstáculos, fugir dos predadores e agrupar com outros golfinhos. O sistema de aprendizado dinâmico é definido por um algoritmo de aprendizado por reforço (A.R.), o qual utiliza a recompensa e punição. Esse bloco é responsável pela capacidade de adaptação da criatura artificial. Finalmente, o sistema motor é responsável pelas inferências de movimentação da criatura no ambiente de acordo com seu estado atual sintonizado dinamicamente por um algoritmo de aprendizado por reforço (A.R.) através dos dados fornecidos pelo sistema de percepção. O algoritmo de A.R. é utilizado para atenuar dinamicamente a incerteza nas ações de baixo nível, e intensifica ou atenua relações causais das ações virar a esquerda e/ou a direita de acordo com uma política punição e bonificação de acordo com mudanças no ambiente. O algoritmo utilizado nesse trabalho foi o *Q-learning* adaptado por regras, entretanto, poderia ter utilizado outros algoritmos, como o aprendizado de Hebb (Papageorgiou, 2012). Maiores detalhes do algoritmo utilizado pode-se ser verificado no trabalho (Mendonça et al, 2013). De acordo com a figura 1 observa-se que a percepção tem influência direta nos blocos de estados, comportamento e no algoritmo de aprendizado dinâmico.

O estado interno consiste em dois subsistemas que são motivação e homeostasis. O Sistema de motivação representa os “desejos” básicos da criatura artificial: agrupar com outros seres de sua espécie, escapar de possíveis objetos ou situações de perigo como a fuga do predador. O segundo subsistema é a homeostasis. A homeostasis é a habilidade ou tendência de um organismo manter seu equilíbrio interno ajustando seus processos fisiológicos. Isso é influenciado por sensores internos como tempo, medição de corrente, ou medição de tensão nas criaturas artificiais. ‘Fome’ é considerado como um estado interno. Outro possível estado de homeostasis, ainda não modelado, poderia estar relacionado com o cansaço do golfinho.

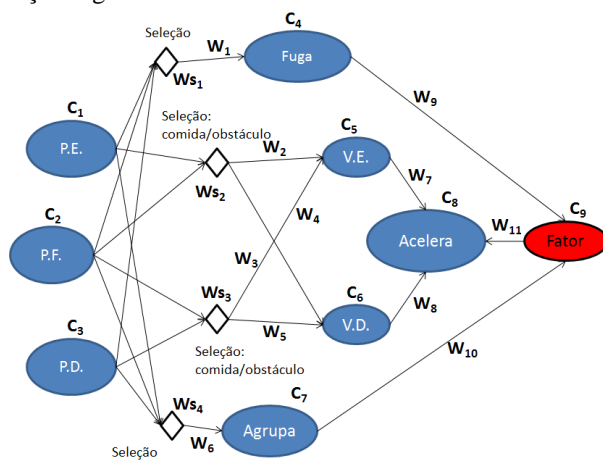


Figura 2 – Proposta D-FCM

De um modo geral, o sistema de comportamento é definido pela determinação da ação que a criatura

artificial irá tomar. Um modelo baseado em D-FCM para um golfinho é dado na figura 2.

A fim de modelar a tomada de decisão em face de eventos não modelados (imprevistos), mas considerando um planejamento a priori, são introduzidos novos conceitos para a D-FCM, associados a uma "intensidade" do movimento, estes conceitos são do tipo fator e ponderam as decisões.

Os conceitos do tipo fator têm seus valores alterados de acordo com a condição atual do movimento do veículo e a ocorrência de eventos. Estes eventos são modelados pelos pesos "ws" na figura 6, que são obtidos pela aplicação de regras (implicações linguísticas) do tipo SE-ENTÃO. Estas regras representam algumas decisões, como se a criatura está virando à direita porque a percepção a esquerda detectou um obstáculo ou se está virando à direita porque o sensor da direita detectou um alimento a ser coletado. O valor padrão de um conceito fator é 1. Se nenhuma regra é disparada para uma determinada relação, então o valor do peso associado ao conceito fator é nulo.

Dos FCMs clássicos são herdadas as relações de causa e efeito ( $W_1-W_{11}$ ) que nesse caso são responsáveis pelas ações de baixo nível. Os sensores P.E., P.F. e P.D. são conceitos clássicos. As saídas V.D., V.E. são também conceitos clássicos e as repostas das inferências da D-FCM. Onde P.E. é percepção esquerda, P.D. é percepção direita, P.F. é percepção frontal, V.D. é virar direita e V.E. é virar esquerda.

#### 4 Resultados

De modo geral, um ambiente virtual permite a simulação das criaturas virtuais que nele estarão interagindo. Nesse ambiente estão presentes dois golfinhos, um predador e peixes menores (alimento do golfinho). Ambos, o predador e o golfinho podem aumentar ou diminuir sua velocidade de nado dependendo da situação ou estado de cada criatura. No caso do golfinho, quando ameaçado pelo predador, ele aumentará sua velocidade para fugir e sobreviver, e quando não houver mais a ameaça ele voltará a sua velocidade e estados normais. O predador, quando percebe sua presa, aumentará sua velocidade no intuito de capturar a presa. Nessa proposta, é possível controlar a velocidade do predador mudando sua "fome", afetando assim seu desempenho para capturar o golfinho.

Um ambiente de simulação com animação 2-D foi também desenvolvido para testar e validar o sistema de navegação desenvolvido. No ambiente de simulação, o rastro com três cores ou tons mais intensos simboliza o golfinho em movimento. Já os sinais de "+" mais claros simbolizam os obstáculos estáticos, o sinal "\*" em um tom mais forte representa o alimento, o símbolo "-o-" representa a criatura virtual (golfinho) parada, e finalmente o "▲" representa o predador. Nas simulações uma trilha ou rastro também é usada para mostrar a sequência de ações de direção e aceleração na trajetória.

A figura 3 mostra todo o cenário onde foram feitas as simulações deste mundo virtual. A figura 4 mostra o rastro das criaturas presentes no ambiente virtual.

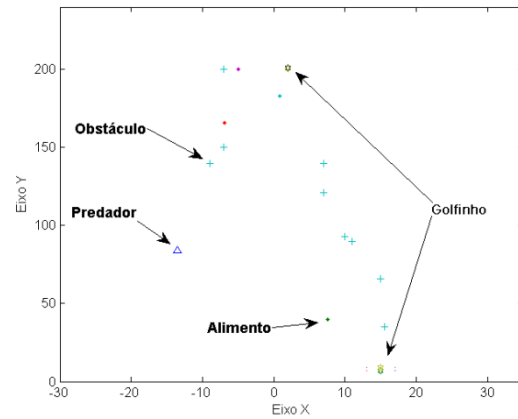


Figura 3 - Visão do ambiente (geral).

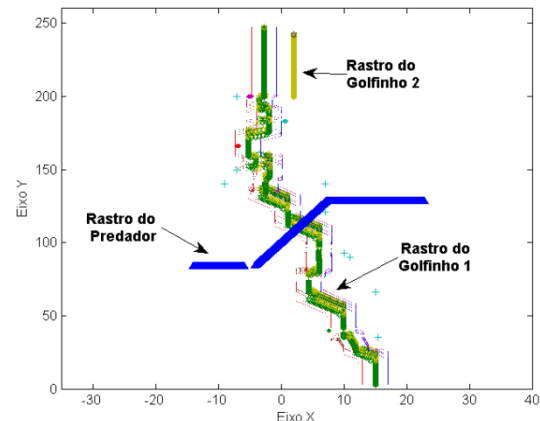


Figura 4 - Rastro de navegação dos golfinhos e do predador.

A figura 5 destaca as ações tomadas pelo predador e o golfinho, onde suas presenças são percebidas, ambos aumentam sua velocidade de movimento, o golfinho tentando fugir, e o predador em sua tentativa de capturar a presa. A figura 6 a ação tomada pelo golfinho quando encontra outro ser de sua espécie, agrupando-se com ele.

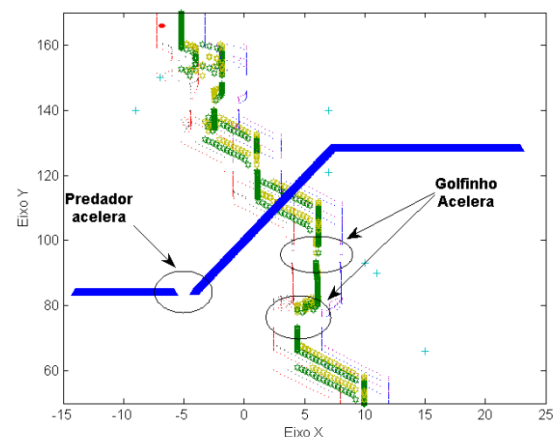


Figura 5 - Rastro das criaturas virtuais ampliados no ponto crítico

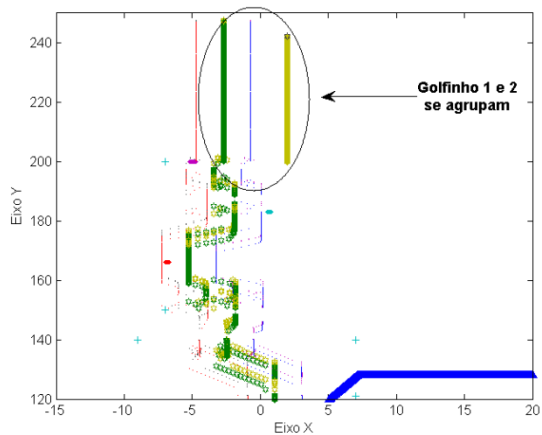


Figura 6 – Rastro dos golfinhos (visão ampliada) no momento em que se agrupam

A figura 7 mostra o traço das criaturas no ambiente virtual simulado, onde neste caso o predador consegue capturar sua presa, o golfinho, por seu conceito de “fome” ser maior que a da simulação anterior. Para o predador conseguir capturar a presa foi necessário um aumento de 30% no seu conceito de fome.

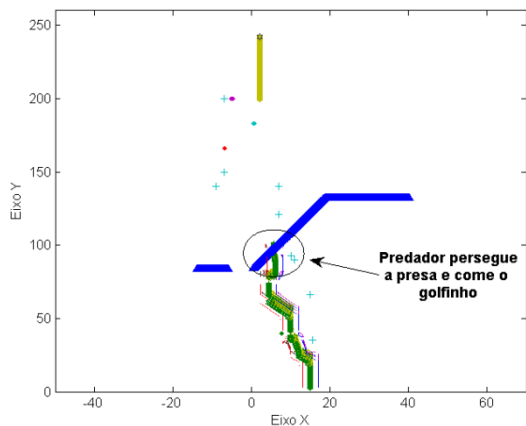


Figura 7 – Rastro das criaturas virtuais no ambiente quando o predador consegue capturar sua presa.

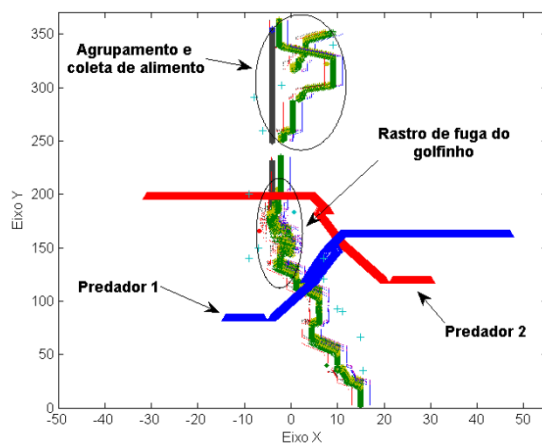


Figura 8 – Rastro das criaturas artificiais com dois predadores

A figura 8 mostra as criaturas artificiais em um ambiente de maior complexidade, com dois predadores. Nesse cenário o golfinho tem que tomar a decisão entre: continuar agrupado ou desviar do obstáculo procurar alimento e fugir de dois predadores.

Os resultados dos experimentos mostraram dois comportamentos distintos no ambiente virtual. De modo mais específico, foi possível verificar o evento de morte do golfinho quando o predador está com maior velocidade devido a sua fome. Entretanto, quando o predador estava com menor velocidade observou-se a fuga do golfinho e ações inerentes à sobrevivência desses, como se alimentar de peixes pequenos e agrupar com outro da mesma espécie.

Estes agentes autônomos em um universo virtual desempenham suas funções de acordo com a estrutura de seus D-FCMs e pode improvisar diante das limitações do cenário. Portanto as criaturas implementados com D-FCMs não são apenas sensíveis, mas também perceptiva, ou seja, seus comportamentos dependem de seu estado interno retroagindo sobre os sensores.

De outro modo, com o modelo cognitivo dinâmico foi possível simular o comportamento de animais (peixes) de forma similar ao seu comportamento real através de estados previamente planejados para a sobrevivência da criatura com ações de fuga, de exploração, de alimentação e de agrupamento com elementos da mesma espécie. Além das ações de sobrevivência do golfinho, foi possível simular uma situação de morte, na qual a fome do tubarão (predador) foi aumentada e consequentemente uma maior velocidade de perseguição.

Observa-se que o modelo cognitivo do tubarão não foi apresentado nesse trabalho, devido a ser relativamente mais simples com somente dois estados, nado em linha reta e caso haja percepção da presa (golfinho), o predador entra no estado de perseguição com sua velocidade aumentada de acordo com a fome.

## 5. Conclusões

Os resultados sugerem que a arquitetura D-FCM mostrou capacidade de aprendizado e adaptação que habilitaram o agente ou criatura artificial a ser racional, ou seja, durante a trajetória as inferências determinaram sequências de ações que permitiram alcançar seus objetivos (procurar comida, agrupar com outra criatura da mesma espécie, desviar de obstáculos e fugir do predador) com bom desempenho.

Deve-se ressaltar a capacidade de adaptação do agente para compensar a incerteza no conhecimento prévio incerto ou parcial do cenário virtual. Por exemplo, a ação de virar à esquerda: sabe-se inicialmente à intensidade que o agente ou criatura deve virar à esquerda, entretanto, a intensidade da ação é previamente estimada. A aplicação do algoritmo de aprendizado por reforço intensificou ou atenuou as relações causais possibilitando uma sintonia dinami-

ca das ações de mais baixo nível, e, consequentemente a adaptação e melhor iteração com o meio.

Espera-se ter contribuído no desenvolvimento de arquiteturas de controle para construção de criaturas virtuais através de uma arquitetura híbrida baseada em conhecimento estruturado (relações de causais e seus respectivos conceitos) e baseado em regras (disparo de eventos para ações de gerenciamento e ações adaptativas deliberativas). Em outras palavras, o D-FCMs viabiliza a construção de modelos cognitivos dinâmicos (disparo de eventos) adaptativo, inicialmente modelado por um FCM clássico. Aplicações com modelos de predador-presa com diferentes quantidades de criaturas poderão ser simulados.

Futuros trabalhos endereçam a construção de mais cenários e com maior complexidade, como por exemplo, adicionar funcionalidades nos atores. Comparar a arquitetura com arquiteturas semelhantes e adaptativas baseadas em técnicas inteligentes (sistemas *Fuzzy*, redes neurais artificiais e sistemas *neuroFuzzy*). E finalmente, refinar a dinâmica de comportamento das criaturas para simulações mais realísticas.

### Referências

- Axelrod, R. (1976). *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.
- Bentley, P. J. (1999). *Evolutionary Design by Computers*. Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Brooks, R. A. (1986). A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, v. 2, n. 1, p. 14-23, Mar.
- Charniak, E. and Mcdermott, D. (1985). *Introduction to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley.
- Dean, T.; Givan, R. and Kim, K. E. (1998). Solving planning problems with large state and action spaces. In *Proceedings of the 4th International Conference on Artificial Intelligence Planning Systems (ICAPS-98)*, pages 102–110.
- Dickerson, J. A. and Kosko, B. (1996). Virtual worlds as *Fuzzy* dynamical systems. In: SHEU, B. (Ed.) *Technology for multimedia*, New York: IEEE Press.
- Fletcher, D.; Duong N, and Cios, K. (2005). Autonomous Synthesis of Fuzzy Cognitive Maps from Observational Data: Preliminaries. *Aerospace Conference, IEEE*, vol., no., pp.1,9, 5-12 March. doi: 10.1109/AERO.2005.1559615
- Gudwin, R. R. (2011). *Arquiteturas Cognitivas para Criaturas Artificiais*. X SBAI. ISSN: 2175-8905 - Vol. X.
- Kosko, B. (1986) *Fuzzy cognitive maps*. *International Journal Man-Machine Studies*, v. 24, n. 1, p.65-75.
- Kok, K. (2009). The potential of Fuzzy Cognitive Maps for semi-quantitative scenario development, with an example from Brazil, *Global Environmental Change* 19 122–133.
- Langton, G. C. (1995). *Artificial Life: An Overview (Complex Adaptive System)*. MIT Press.
- Mendonça, M.; Angélico, B.; Arruda, L.V.R. and Neves, F. (2013). A dynamic fuzzy cognitive map applied to chemical process supervision. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 26, p. 1199-1210.
- Netto, L. N. and Rinaldi, L. C. A. (2011). *Vida Artificial: Conceitos e Aplicações*. X SBAI. ISSN: 2175-8905 - Vol. X.
- Papageorgiou, E. (2012) *Learning Algorithms for Fuzzy Cognitive Maps*. *IEEE Transactions on Systems and Cybernetics. Part C: Applications and Reviews*, v. 42, p. 150-163.
- Parenthoen, M.; Reignier, P. and Tisseau, J. (2001). "Put fuzzy cognitive maps to work in virtual worlds," *Fuzzy Systems, 2001. The 10th IEEE International Conference on*, vol.1, no., pp.252,255, doi: 10.1109/FUZZ.2001.1007296
- Sowa, J. F. (1991) *Principles of semantic networks: Explorations in the representation of knowledge*. San Mateo, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Xiaojuan, B.; Dongmei, A.; Guangping, Z. and Xuyana, T. (2005). Computer animation based on artificial life and artificial intelligence: the research of artificial fish. *Networking, Sensing and Control, 2005. Proceedings. 2005 IEEE*, vol., no., pp.321,325, 19-22 March.