

Composição de Técnicas de Inteligência Artificial em uma Arquitetura Multinível para Emergência de Comportamentos em Agentes Cooperativos

João Rogério Vieira Neto¹, Jerusa Marchi¹

¹Departamento de Informática e Estatística – INE
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Caixa Postal 476 – 88.040-900 – Florianópolis – SC – Brasil

jrogerio.vn@gmail.com, jerusa.marchi@ufsc.br

Abstract. *Usually intelligent systems are complex systems where the accomplishment of the task demands the integrated and coordinated action of several agents. Besides that, the complexity of the individual actions can demands the application of several techniques. Digital games are among the problems presenting high complexity and whose solution demands the operation of several systems. This work presents a multilevel architecture implementation for composing cooperative agents. Each level of this architecture is developed using a specific artificial intelligence technique. In order to validade the proposal, the agents compete in a capture the flag game.*

Resumo. *Sistemas inteligentes são, em muitos casos, sistemas complexos, onde o cumprimento da tarefa pode demandar a ação integrada e coordenada de diversos agentes. Além disso, a complexidade das ações individuais pode demandar a utilização de diversas técnicas. Dentre a gama de problemas que apresentam alto grau de complexidade e cuja solução demanda diversos subsistemas destacam-se os jogos digitais. Este trabalho apresenta a implementação de uma arquitetura multinível para a composição de agentes cooperativos, que consiste em uma composição de técnicas de inteligência artificial. Para validar a proposta, os agentes competem em um jogo de captura à bandeira.*

1. Introdução

Em muitas soluções desenvolvidas utilizando técnicas de Inteligência Artificial (IA) a autonomia do sistema é uma qualidade desejada, onde o uso de agentes passa a ser comum. Além disso, quando a complexidade do sistema é alta somente um agente pode ser insuficiente para implementar a solução do problema, necessitando da ação coordenada de um grupo de agentes [Wooldridge 2002b, Jennings 2000]. Dependendo da complexidade das ações esperadas de cada agente, também torna-se necessária, a composição de diversas técnicas visando cobrir todos os aspectos do comportamento desejado. Por outro lado, jogos digitais são, em sua maioria, sistemas modulares e complexos, onde cada módulo é responsável por realizar tarefas específicas [McShaffry and Graham 2013, Schwab 2009], sendo portanto um excelente domínio para testar arquiteturas de agentes e a integração de técnicas IA.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é a implementação de uma arquitetura multinível onde cada nível utiliza uma técnica de inteligência artificial distinta. A ação coordenada dos níveis provê o comportamento inteligente individual e, em nível global, a ação coordenada dos agentes provê o comportamento inteligente do sistema.

O artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 é apresentada a arquitetura multinível na qual a arquitetura implementada foi inspirada. Na seção 3 é descrito o cenário do jogo criado para instanciar os agentes. Na seção 4 apresenta-se a composição das técnicas escolhidas para a constituição dos agentes e o detalhamento de cada nível da arquitetura, bem como seu funcionamento global. A seção 5 apresenta a validação da implementação realizada, com os testes individuais e a integração final da arquitetura e sistema. Por fim, são feitas algumas considerações finais e são apresentadas algumas limitações encontradas.

2. Arquitetura Multinível

A arquitetura implementada é inspirada na arquitetura multinível proposta por Bittencourt [Bittencourt 1997] e integra as principais técnicas de IA, como Redes Neurais, Sistemas Fuzzy, Algoritmos Genéticos e Raciocínio Simbólico, cujo intuito é o desenvolvimento de um ser artificial autônomo, capaz de aprender com sua interação com o mundo, correlacionar fatos, armazenar e extrapolar situações vividas, tomar decisões e reorganizar seu próprio conhecimento. O modelo da arquitetura ampara-se nas seguintes hipóteses [Bittencourt and Marchi 2006]:

- Cognição é uma propriedade emergente de um processo cíclico e dinâmico baseado na interação de um conjunto de unidades funcionalmente independentes.
- Qualquer modelo da atividade cognitiva deve ser epistemologicamente compatível com a teoria da evolução.
- Aprendizado e atividade cognitiva estão fortemente relacionados, portanto, a modelagem cognitiva do agente deve depender do histórico do agente cognitivo.

Nesta proposta, Bittencourt estabelece a ação coordenada de três níveis de ciclos de pensamento/ações: um nível inferior denominado *nível reativo* que é composto por padrões extraídos de informações sobre o mundo externo, controles que produzem alguma ação neste mundo e uma população de cromossomos que unem percepção e ação. Tais cromossomos quando submetidos à um processo de seleção natural, no qual a função de fitness está associada com as emoções do agente, permite ao agente aprender e adaptar-se ao ambiente.

Um nível intermediário, denominado *nível instintivo* que possui um mecanismo de memória de longo prazo, de forma que quando o processo evolucionário avança no nível reativo e as situações começam a se repetir no mundo, torna-se possível identificar populações responsáveis por ações relevantes em uma determinada situação, abstrair suas propriedades e obter uma descrição geral de ação para uma determinada situação. Estas descrições são armazenadas pelo agente na memória de longo prazo e são acessadas mediante a percepção de situações similares.

Por fim, o terceiro e último nível, denominado *nível cognitivo* é encarregado da manipulação das descrições gerais obtidas no nível instintivo, aplicando funções cognitivas de dedução, abdução e indução. Este nível é constituído por duas atividades com-

plementares: o aprendizado através de descrições de situações relevantes, e a geração de novas estratégias de ação.

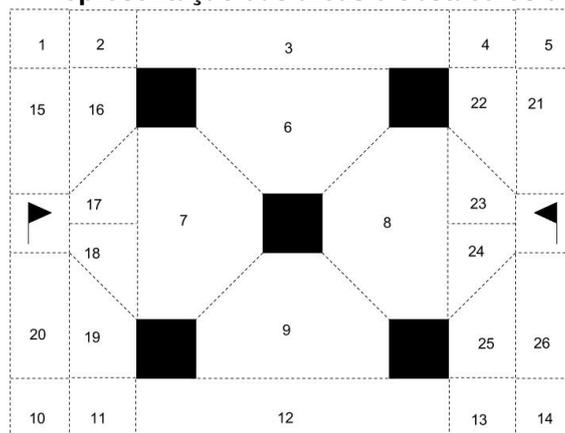
A proposta desta arquitetura é bastante ampla e genérica, o que torna sua implementação completa um sonho audacioso. Desta forma, para este trabalho, optamos por nos inspirar na idéia da coordenação das ações dos três níveis, porém fazendo uso de técnicas específicas voltadas ao domínio de um jogo de captura à bandeira. Desta forma, antes de introduzir as técnicas implementadas e a coordenação entre níveis, é importante definir o cenário de aplicação dos agentes.

3. Cenário de Aplicação

O sistema consiste em um jogo no estilo captura à bandeira, que acontece em uma pequena arena. Existem dois times, denominados time A e time B, cujos objetivos são a captura da bandeira inimiga e a defesa de sua própria bandeira. Vence a equipe que conseguir capturar a bandeira adversária primeiro. O mapa da arena, mostrado na figura 1, possui cinco obstáculos estáticos e diversas áreas delimitadas, denominadas regiões, por onde os agentes podem se movimentar. As áreas são enumeradas em uma sequência específica para ser usada na identificação da posição dos agentes e elaboração do plano. A caracterização das regiões é a seguinte:

- Região superior: áreas 1 a 5;
- Região central: áreas 6 a 9;
- Região inferior: áreas 10 a 14;
- Região de defesa do time A: áreas 15 a 20;
- Região de defesa do time B: áreas 21 a 26.

Figure 1. Representação das áreas e obstáculos da arena.



Cada time é composto por 3 agentes. Um agente pode atacar a bandeira adversária ou defender uma área, conforme suas competências (descritas na seção 4.1). Além disso, estabeleceu-se a figura de um agente líder, que define a estratégia do time e estabelece tarefas aos subordinados. As próximas seções apresentam a arquitetura específica desenvolvida para este domínio, descrevendo em linhas gerais as técnicas escolhidas e implementadas em cada nível, bem como a coordenação geral do sistema de agentes.

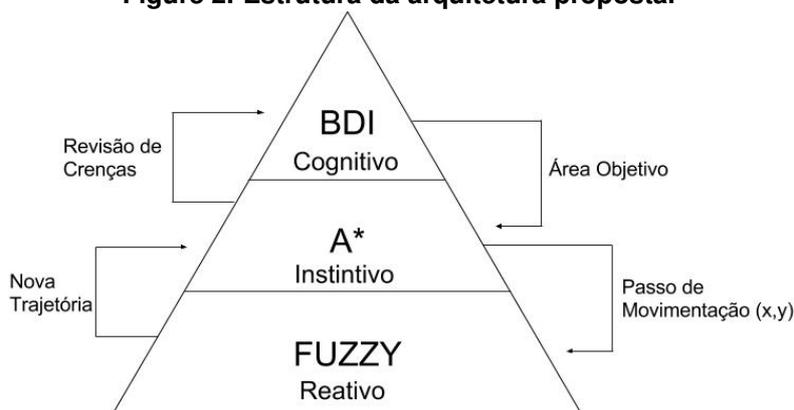
4. Modelagem dos agentes

A proposta do trabalho é a implementação de um sistema multiagente onde cada agente é definido por uma arquitetura em três níveis, conforme apresentado na seção 2, e cujos comportamentos devem atender às demandas do domínio de aplicação descrito na seção 3. Desta forma, é possível perceber que no nível cognitivo, o agente deve ser capaz de raciocinar sobre a estratégia do jogo, decidindo pelo ataque ou defesa; no nível instintivo, ele deve localizar-se na arena e coordenar seus movimentos conforme a decisão no nível cognitivo. De forma reativa, o agente deve buscar evitar colisões com os obstáculos estáticos, bem como deve *driblar* os oponentes ou deve colocar-se de forma a impedir que um agente adversário segua até a bandeira. Desta forma, tem-se para cada nível:

- Nível cognitivo: Para implementar o nível cognitivo foi escolhido o Modelo BDI - *Belief, Desire, Intention* [Wooldridge 2002a] - pela facilidade em estabelecer planos e definir o comportamento do agente em alto nível, bem como pela simplicidade em estabelecer novos objetivos dada a dinâmica do jogo, através de seu ciclo de raciocínio bem estabelecido.
- Nível instintivo: Neste nível é utilizada uma busca em grafos com algoritmo A*, que opera sobre grafos valorados realizando estimativa de custo para atingir um vértice destino. O algoritmo utiliza uma estratégia gulosa associada a uma função heurística para a estimativa de custo futuro [Russel and Norvig 2003], de forma a encontrar o melhor caminho para uma determinada área na arena.
- Nível reativo: O nível reativo foi implementado com o auxílio de um controlador *fuzzy* [Tanscheit 2003, Chen and Pham 2001], que recebe dados sobre a distância do agente a um determinado obstáculo e dependendo do comportamento (ataque ou defesa) impõe o próximo passo do agente.

A figura 2 ilustra os níveis da arquitetura e as técnicas implementadas em cada nível e as seções seguintes descrevem os detalhes de implementação de cada nível.

Figure 2. Estrutura da arquitetura proposta.



4.1. Nível Cognitivo

O nível cognitivo do agente é modelado utilizando *AgentSpeak* através do interpretador Jason, e suas ações são integradas com a aplicação Java utilizada para implementar a interface do jogo. Os agentes do sistema possuem crenças relativas às suas competências,

à sua posição atual e às ordens recebidas do agente líder. As crenças relativas às competências de ataque e defesa dos agentes são fixas, ou seja, durante toda a execução os agentes sempre vão defender ou atacar as mesmas áreas. As crenças relativas à posição atual e às ordens vindas do agente líder mudam no processo de revisão de crenças dos agentes.

A comunicação dos agentes ocorre por meio de troca de mensagens individuais e *broadcast*. A troca de mensagens entre os agentes do mesmo time é sempre individual, o *broadcast* só é emitido quando um agente muda sua crença de posição atual, fazendo-se necessário informar a todos os agentes do ambiente sobre sua nova posição. As tabelas 1 e 2 mostram as diferenças nas configurações de cada time, o que distingue as competências de cada um.

Table 1. Configuração do Time A

	Time A		
	Líder	Subord 1	Subord 2
Crença de defesa:	áreas 15 à 20	áreas 16,18 e 20	não
Crença de ataque	não	não	sim
Elabora plano	sim	não	não

O líder do time A fica observando a movimentação inimiga e identifica as áreas que precisam ser protegidas baseado na posição atual dos inimigos. Uma vez identificadas as áreas que devem ser protegidas, ele ordena que o subordinado 1 proteja a área que é capaz, enquanto o próprio líder protege outra. Enquanto o líder e o subordinado 1 estão sempre defendendo, o subordinado 2 está sempre focado em atacar.

Table 2. Configuração do Time B

	Time B		
	Líder	Subord 1	Subord 2
Crença de defesa:	áreas 21 à 26	áreas 22 e 23	24 e 25
Crença de ataque	não	sim	sim
Elabora plano	sim	não	não

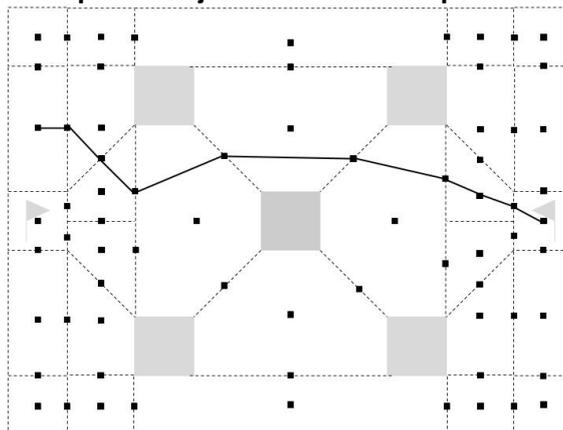
No caso do time B, o líder fica observando a movimentação inimiga, ao identificar as áreas que precisam ser protegidas, ele tenta alocar os subordinados para defendê-las, caso um subordinado não seja capaz de defender nenhuma delas ele ordena que esse agente ataque. Caso os dois agentes sejam capazes de proteger a região, ele ordena que os dois protejam e seu time ficará sem atacar enquanto executa essa estratégia de defesa.

Ao elaborar uma estratégia, o agente líder emite uma ordem para seu subordinado, que por sua vez, gera uma ação Java a ser executada na aplicação. Quando um agente da aplicação Java recebe uma ação vinda de seu modelo cognitivo em Jason, é um indicativo que a partir de agora ele possui uma posição alvo definida. Então inicia o processo deliberativo de sua ação, ou seja, essa posição é passada para o nível instintivo gerar uma trajetória até a área desejada.

4.2. Nível Instintivo

O objetivo do nível instintivo é gerar uma trajetória da posição atual do agente até uma posição de destino. Para efetuar essa tarefa é utilizado o algoritmo de busca A*, que opera percorrendo um grafo valorado gerado sobre as áreas da arena como exemplificado na figura 3.

Figure 3. Exemplo de trajetória através dos pontos de controle .



Para cada área da arena são definidos alguns pontos de controle. Esses pontos são coordenadas bidimensionais que representam posições intermediárias que o agente usa para se deslocar, ou seja, representam os vértices do grafo utilizado como base para o planejamento da trajetória. Há também a necessidade de se calcular a distância entre dois pontos em dois momentos, e para isso usa-se a distância Euclideana. O primeiro momento é na geração do grafo, onde o peso de cada aresta consiste na distância entre seus vértices. No segundo momento, cálculo da distância entre pontos é utilizado como função heurística para estimar a proximidade com a posição destino da trajetória.

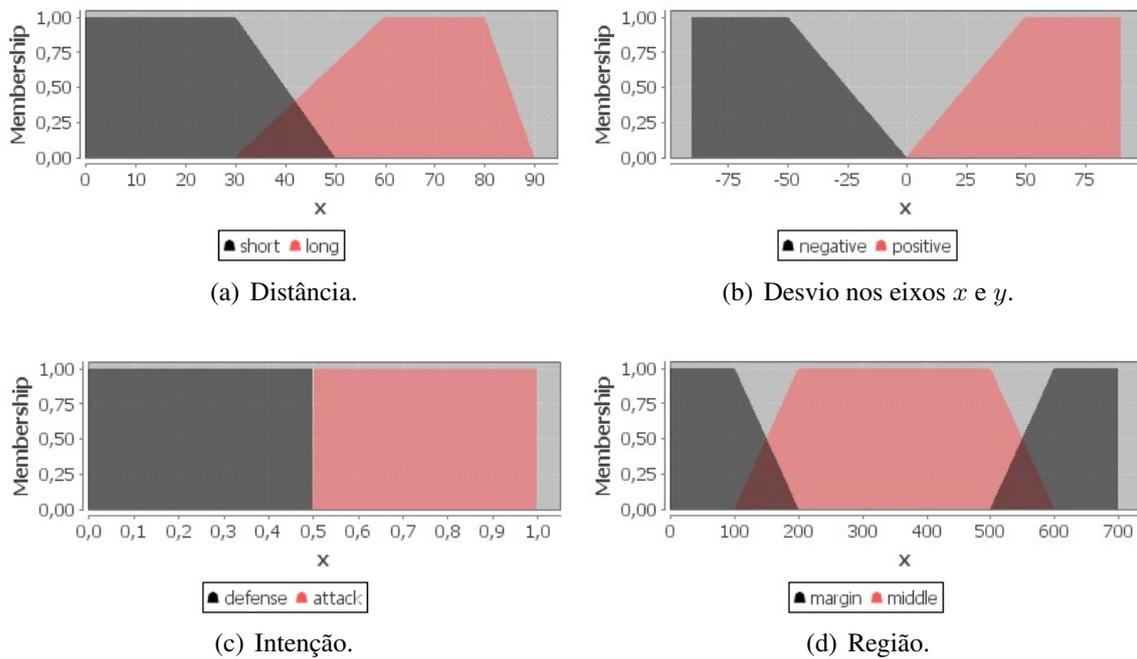
A cada atualização temporal no sistema o agente deve realizar um passo de movimentação, ou seja, um deslocamento parcial dentro da trajetória. Sempre que um passo de movimentação é gerado, ele é enviado ao nível reativo para que esse faça eventuais alterações, e também é feita uma verificação para identificar uma transição entre duas áreas. Ao identificar uma transição entre duas áreas, o nível instintivo deve informar ao nível cognitivo, para que este faça a revisão de crenças e elabore uma nova estratégia.

4.3. Nível Reativo

Para ser capaz de realizar as alterações no passo da trajetória, o nível reativo da arquitetura do agente utiliza um controlador fuzzy. A cada atualização da posição do agente, o nível recebe o passo de movimentação a ser aplicado e gera valores para as variáveis de entrada do controlador. O controlador é composto por cinco variáveis de entrada e duas de saída. As variáveis de entrada são apresentadas nas figuras 5(a), 5(b), 5(c) e 5(d), onde é possível ver os universos de discursos definidos para cada variável bem como os conjuntos fuzzy definidos para cada universo.

A variável distância trata da distância entre o agente e seu inimigo. A variável desvio é assinalada para os eixos x e y e indica a diferença na posição do agente com relação à trajetória estabelecida. A variável intenção define se o agente está atacando ou

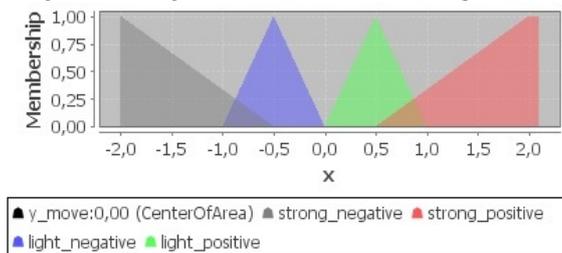
Figure 4. Conjuntos fuzzy de entrada.



defendendo. A variável região define se o agente está no meio ou na borda de uma dada região.

As duas variáveis de saída representam o valor do passo de movimentação, sendo uma variável para cada eixo (x e y), apresentada na figura 5.

Figure 5. Conjunto fuzzy de saída: movimentação nos eixos x e y .



Por fim, as regras fuzzy cobrem três casos: ataque pela região central, ataque pelas regiões de borda e defesa. No caso do ataque o agente mantém o valor do passo em um eixo, enquanto gera um valor de desvio para o outro eixo. O valor da movimentação no eixo selecionado será sempre no sentido contrário ao deslocamento do inimigo, com o objetivo de fazer o desvio se distanciando dele, e será um movimento brusco ou suave dependendo da distância entre ambos. Para a situação de ataque pela região central da arena, o eixo y é selecionado para desvio e o passo é mantido para o eixo x . No caso de um ataque pelas regiões de borda, tanto a verificação do desvio, como o valor do passo de movimentação levarão em consideração o eixo x . Quando a intenção do agente é de defesa, o comportamento é mais simples e não depende de tantas variáveis de entrada. As regras que levam em conta essa intenção basicamente vão gerar valores para as variáveis de saída que farão o agente defensor bloquear o caminho do atacante, e segui-lo em caso

de uma esquivada. O comportamento de defesa independe da região em que o agente se encontra.

O controlador tem um total de 16 regras, sendo 4 regras para cada caso. Por razões de espaço apresenta-se abaixo uma regra de cada conjunto, sendo a Regra 1 relativa ao ataque pela região central, a Regra 2 relativa ao ataque pela região de borda e a Regra 3 uma regra de defesa.

Regra 1: IF region IS middle AND distance IS short AND yDeviation IS negative AND intention IS attack THEN yMove IS strongPositive;

Regra 2: IF region IS margin AND distance IS short AND xDeviation IS negative AND intention IS attack THEN xMove IS strongPositive;

Regra 3: IF xDeviation IS negative AND intention IS defense THEN xMove IS lightNegative;

4.4. Coordenação dos níveis funcionais da arquitetura

Dados os seus três níveis, as ações devem ser coordenadas de forma a assegurar o comportamento do agente. Desta forma há dois fluxos: o fluxo *top-down* e o fluxo *bottom-up*. O fluxo *top-down* inicia-se no nível cognitivo, que ao gerar uma intenção passa uma área alvo para o nível instintivo, que por sua vez, após gerar a trajetória envia o passo de movimentação para o nível reativo aplicar eventuais alterações. Eventualmente, o agente vai ter que refazer sua trajetória, além de fazer revisão de crença para alterar seu objetivo. Para isso é necessário definir também uma comunicação no sentido contrário (fluxo *bottom-up*) entre os níveis da arquitetura.

Quando o nível reativo é ativado, ele faz alterações no passo de movimentação a cada ciclo temporal da aplicação. Mas ele deve ser capaz de perceber quando não há mais necessidade de fazer alterações na trajetória. Então, quando o nível reativo identifica que a posição do agente ultrapassou a de seu inimigo no eixo definido, este indica ao nível instintivo que ele deve elaborar uma nova trajetória, partindo da posição atual do agente, e mantendo o mesmo destino. Por sua vez, o nível instintivo, após a aplicação de um passo de movimentação, deve sempre verificar se a mudança de posição resultou em uma transição para outra área da arena. Sempre que for identificada uma transição, o nível instintivo envia uma notificação para o nível cognitivo, para que este faça revisão de suas crenças, e adicione uma crença da sua nova posição atual.

Por fim, o nível cognitivo ao atualizar sua crença de posição atual, irá enviar uma mensagem *broadcast* aos demais agentes do ambiente, informando sua movimentação. Ação esta que fará com que o líder inimigo refaça o plano de ação de seu time, completando o processo inverso das ações da arquitetura e recomeçando o fluxo *top-down*.

5. Validação

Para realizar a validação da estrutura proposta, foram executados testes isolados de cada um dos níveis e testes de integração 2 a 2 e por fim a integração completa do sistema. Por razões de espaço, apresentaremos um cenário de teste do nível cognitivo, um cenário de teste de integração entre o cognitivo e o instintivo - onde é possível ver o agente criando a

trajetória baseado no objetivo gerado no nível cognitivo e também a alteração da estratégia dos times; e um cenário de teste da arquitetura como um todo, onde é possível ver todas as suas propriedades, além de realizar todas as ações do cenário anterior, o agente nessa execução realiza alterações na trajetória de acordo com a necessidade, e posteriormente retoma sua trajetória.

Para as execuções a seguir são instanciados dois times, o time *A* está representado pela cor azul é instanciado no lado esquerdo da arena, enquanto o time *B* é representado pela cor vermelha e é instanciado ao lado direito da arena.

5.1. Cenário 1: Teste do Nível Cognitivo

O primeiro cenário a ser apresentado é do nível cognitivo funcionando isoladamente. Primeiramente os agentes são iniciados e os líderes de cada time elaboram um plano inicial, como na figura 6 são mostradas as ações acontecendo na saída da execução. Enquanto o líder *A* e subordinado A_1 defendem as áreas 17 e 18 respectivamente, o subordinado A_2 ataca a bandeira inimiga na área 28. Já o plano inicial elaborado pelo líder do time *B* consiste em ordenar ao subordinado B_1 defender a área 23, ao subordinado B_2 defender a área 24, enquanto ele próprio defende a área 21.

Figure 6. Nível cognitivo rodando isoladamente em Jason.

```

MAS Console - bdiTrajetoria
Jason Http Server running on http://169.254.100.255:3273
[subordinadoB1] Agente iniciado...
[LiderB] Lider iniciado...
[LiderA] Lider iniciado...
[subordinadoB2] Agente iniciado...
[subordinadoA2] Agente iniciado...
[subordinadoA1] Agente iniciado...
[LiderA] CRIANDO PLANO
[subordinadoA2] Eu vou pegar a bandeira na area: 28
[LiderB] CRIANDO PLANO
[LiderB] PROTEGEREI A AREA: 21
[LiderA] subordinadoA1 NAO PODE proteger área 17
[LiderA] subordinadoA1 pode proteger área 18
[LiderA] PROTEGEREI A AREA: 17
[LiderB] subordinadoB1 pode proteger área 23
[LiderB] subordinadoB2 pode proteger área 24
[subordinadoA1] --- Estou protegendo a área: 18
[subordinadoA1] executing internal action 'bdiTrajetoria.protect'
Protegendo!
[subordinadoB2] --- Estou protegendo a área: 24
[subordinadoB2] executing internal action 'bdiTrajetoria.protect'
Protegendo!
[LiderB] subordinadoB2 AMIGO me confirmou que protege área 24
[subordinadoB1] --- Estou protegendo a área: 23
[subordinadoB1] executing internal action 'bdiTrajetoria.protect'
Protegendo!
[LiderA] subordinadoA1 AMIGO me confirmou que protege área 18
[LiderB] subordinadoB1 AMIGO me confirmou que protege área 23
[subordinadoB1] MUDEI MINHA AREA PARA: 3
[LiderA] inimigo entrou na area: 3
[LiderA] CRIANDO PLANO
[LiderA] subordinadoA1 NAO PODE proteger área 15
[LiderA] subordinadoA1 pode proteger área 16
[LiderA] PROTEGEREI A AREA: 15
[subordinadoA1] Estou protegendo a área: 16
[subordinadoA1] executing internal action 'bdiTrajetoria.protect'
Protegendo!
[LiderA] subordinadoA1 AMIGO me confirmou que protege área 16

```

Após os agentes executarem as ações definidas no plano inicial, o subordinado B_1 muda sua posição para área 3, emitindo uma mensagem *broadcast* para os demais agentes. Ao receber a mensagem o líder *A* elabora um plano de ação de seu time para

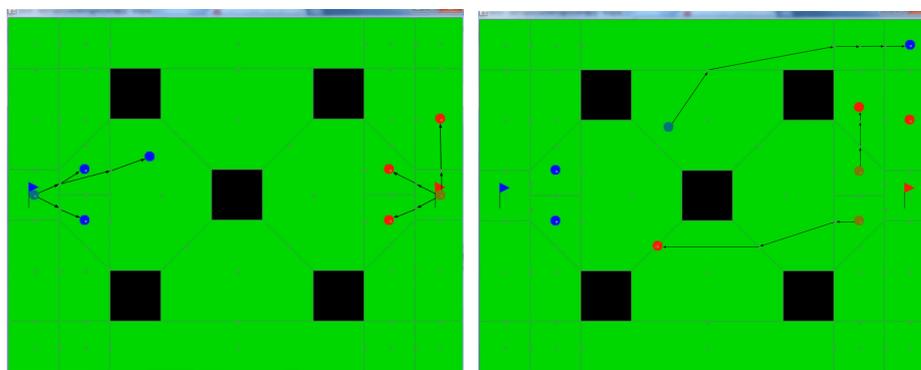
reagir à ação do agente inimigo. Finalizando com sucesso um ciclo de ações dentro do nível cognitivo.

5.2. Cenário 2: Teste de integração - níveis cognitivo e instintivo

Após os agentes serem instanciados, os líderes de cada time elaboram sua estratégia inicial. Como mostra a figura 7(a), o líder do time *A* e um de seus subordinados defendem as áreas centrais de acesso à sua bandeira, enquanto o outro subordinado se move em direção à região em que se encontram os inimigos. A estratégia do time *B* é totalmente defensiva, os agentes subordinados defendem as áreas centrais de acesso à sua bandeira, enquanto o líder defende uma das áreas de acesso superiores.

As áreas objetivo das trajetórias vêm do nível cognitivo. Para este cenário, o subordinado do time *A* que se desloca para a região inimiga, tem como objetivo a área do canto superior direito da arena. Sempre que este agente atravessa de uma área para outra é emitido um *broadcast* avisando os demais agentes da aplicação, então, no momento que este agente passa para a região superior da arena, o líder do time *B* identifica a necessidade de alterar o plano de ação. A alteração do plano de ação do time *B*, ilustrada na figura 7(b) consiste em ordenar ao subordinado B_1 que proteja a área de acesso superior, enquanto o subordinado B_2 deve atacar a bandeira inimiga.

Figure 7. Integração dos níveis cognitivo e instintivo.



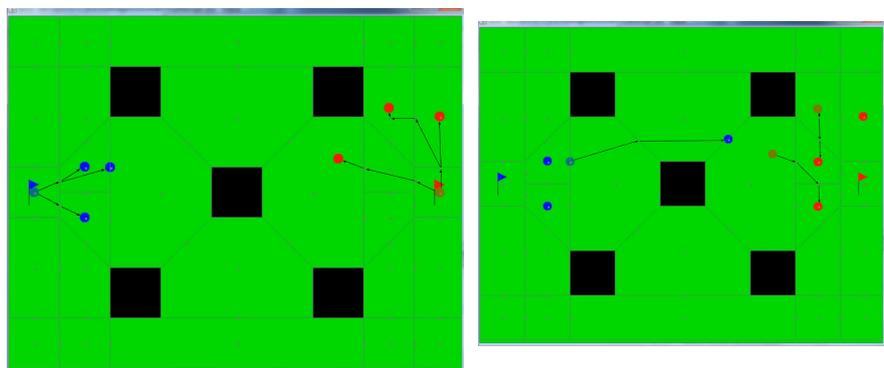
(a) Times executando a estratégia inicial.

(b) Time *B* alterando sua estratégia.

Portanto, o cenário mostra que os dois níveis da aplicação integrados geram o comportamento que se esperava dos agentes, mas ainda falta o terceiro nível da arquitetura para que a integração seja validada por completo.

5.3. Cenário 3: Integração completa dos três níveis

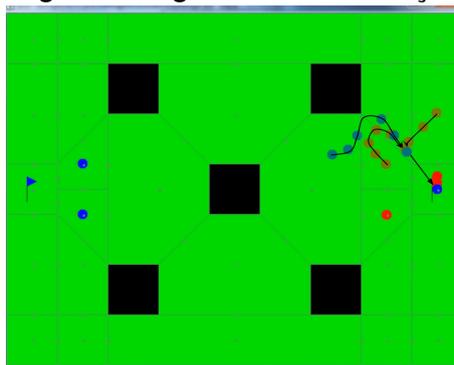
No último cenário, a estratégia inicial do time *B* consiste em defender as áreas superiores, enquanto um de seus subordinados ataca pela região central. O time *A* inicialmente defende as áreas de acesso centrais enquanto seu subordinado ataca pela região central como mostra a figura 8(a). Ao receber a informação via *broadcast* de que o subordinado do time *A* entrou na região central, o líder do time *B* reformula seu plano de ação, passando a ter uma postura totalmente defensiva, como mostra a figura 8(b), quando então ordena que seus dois subordinados defendam as áreas centrais de acesso à sua bandeira.

Figure 8. Integração dos três níveis.

(a) Times executando a estratégia inicial.

(b) Time *B* alterando sua estratégia.

O subordinado *A* persiste na sua movimentação de ataque pela região central, ativando por fim, o nível reativo, como mostra a figura 9. Neste momento, a cada ciclo temporal, o controlador *fuzzy* é executado e passo de movimentação é alterado conforme as regras nebulosas. Sendo assim, o subordinado do time *A* começa a se deslocar em direção contrária ao posicionamento de seu inimigo, enquanto o agente do time *B* começa a segui-lo. Ao verificar que conseguiu passar por seu inimigo, o agente do time *A* reformula sua trajetória com destino à bandeira inimiga. Nesse momento o líder do time *B* identifica a proximidade do inimigo e passa a segui-lo também, mas sem sucesso em alcançá-lo. Dessa forma o agente do time *A* consegue chegar à bandeira inimiga, finalizando a execução.

Figure 9. Agentes reagindo à movimentação inimiga.

Nesse cenário é possível perceber todas as propriedades da arquitetura. No sentido *top-down*, os times formulam suas estratégias e os agentes geram áreas de destino. Com um destino definido o nível instintivo gera uma trajetória, e o nível reativo altera o passo de movimentação quando identifica a proximidade de um inimigo. E no sentido *bottom-up*, quando o agente identifica que conseguiu desviar do inimigo, imediatamente indica ao nível instintivo que deve ser gerada uma nova trajetória. Por fim, ao transitar de uma área para outra, o nível instintivo comunica ao cognitivo a alteração da posição atual, que acontece quando o time *B* muda sua estratégia para uma postura totalmente defensiva.

6. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi a implementação coordenada de técnicas distintas de IA em uma arquitetura multinível, onde cada nível torna-se responsável por parte do comportamento do agente e suas ações integradas permitem a elaboração de um comportamento inteligente mais elaborado. Como visto na validação, a proposta alcançou o comportamento esperado dos agentes. Foram fatores limitantes do trabalho alguns problemas decorrentes da integração Jason/Java. Dentre os problemas encontrados, estão: (i) interferência na comunicação dos agentes - o *loop* principal do jogo, implementado em Java, provocou problemas na troca de mensagens entre os agentes modelados em Jason. Ao elaborar um plano, os líderes emitiam mensagens, mas seus subordinados não as recebiam. Este problema foi solucionado através da criação de uma ação Java que os líderes emitem para interromper a execução do *loop*, retomando-a após realizada a comunicação. (ii) Referência nula completa ou incompleta na inicialização dos agentes - na ocorrência deste erro, os agentes do sistema não são, total ou parcialmente, inicializados, resultando em times incompletos ou na arena vazia. Este problema acontece de forma aleatória e não nos foi possível identificar a sua causa. No entanto, tais erros estão relacionados com a integração Java/Jason, e não com o funcionamento da arquitetura, que demonstrou-se estável em todas as execuções corretamente inicializadas.

Como trabalhos futuros, sugere-se a investigação mais profunda da integração Java/Jason visando sanar os problemas citados. Neste trabalho foi visto que é possível utilizar a arquitetura em um ambiente específico, mas não foi atribuído nenhum requisito de desempenho nas ações dentro das regras do jogo, o que poderia ser melhor explorado. Ainda é possível estudar melhor a composição das técnicas, com o objetivo de fazer implementações mais complexas e por fim, seria interessante inserir alguma forma de aprendizado com o objetivo de fazer com que a arquitetura apresente maior competitividade.

References

- Bittencourt, G. (1997). In the quest of the missing link*. *IJCAI*.
- Bittencourt, G. and Marchi, J. (2006). *Artificial Cognition Systems*, chapter An Embodied Logical Model for Cognition, pages 27–64. IDEA Group Inc.
- Chen, G. and Pham, T. T. (2001). *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems*. CRC Press.
- Jennings, N. R. (2000). On agent-based software engineering. *Artificial Intelligence*, 117.
- McShaffry, M. and Graham, D. (2013). *Game Coding Complete*. Course Technology, a part of Cengage Learning, 4th edition.
- Russel, S. J. and Norvig, P. (2003). *Artificial Intelligence*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2nd edition.
- Schwab, B. (2009). *AI Game Engine Programming*. Course Technology, a part of Cengage Learning, 2nd edition.
- Tanscheit, R. (2003). Sistemas fuzzy. *Anais de Minicursos do VI SBAI*.
- Wooldridge, M. (2002a). Intelligent agents. *Multi-Agent Systems and Applications II*.
- Wooldridge, M. (2002b). *An Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley and Sons.