

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA” CENTRO
UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM CURSO DE CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO

RENATO DE PONTES PEREIRA

**SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS APLICADOS A JOGOS
DE COMPUTADOR**

MARÍLIA
2010

RENATO DE PONTES PEREIRA

SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS APLICADOS A JOGOS DE
COMPUTADOR

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de
Ciência da Computação da Fundação de Ensino
“Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do
Centro Universitário Eurípides de Marília –
UNIVEM, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Ciência da
Computação.

Orientador:
Prof. Ms. MAURICIO DUARTE

MARÍLIA
2010

Pereira, Renato de Pontes

Sistemas imunológicos artificiais aplicados a jogos de computador / Renato de Pontes Pereira; orientador: Mauricio Duarte. Marília, SP; [s.n.], 2010.

54 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Curso de Ciência da Computação, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, Marília, 2010.

1. Sistemas Imunológicos Artificiais. 2. Inteligência Artificial
3. Jogos

CDD: 005.12

*Dedico este trabalho à ciência, pois sem
ela nada disso seria possível.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

Aos meus pais por sempre estarem comigo.

Ao meu professor e orientador que sempre me apoiou.

Aos meus professores que ao longo do curso me ajudaram a chegar onde estou.

Aos meus amigos.

*Agradeço de forma especial ao professor OAK que sempre me ajudou em toda
minha jornada.*

Agradeço ao Bilú por me incentivar a buscar conhecimento.

PEREIRA, Renato de Pontes. **Sistemas imunológicos artificiais aplicados a jogos de computador**. 2010. 54 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2010.

RESUMO

Existem diversos problemas enfrentados na criação da inteligência artificial em um jogo, exemplos disso são as respostas mecânicas e desequilibradas do computador às ações do jogador. Diversas técnicas podem ser usadas para evitar ou amenizar problemas como esses, por exemplo, com técnicas bio-inspiradas como redes neurais artificiais, algoritmos genéticos ou sistemas imunológicos artificiais. Este trabalho é um estudo sobre a área de sistemas imunológicos artificiais e a aplicação das técnicas de inteligência artificial em jogos.

Palavras-chave: Sistemas Imunológicos Artificiais. Inteligência Artificial. Jogos.

PEREIRA, Renato de Pontes. **Sistemas imunológicos artificiais aplicados a jogos de computador**. 2010. 54 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2010.

ABSTRACT

There are many problems faced when creating the artificial intelligence in a game, such as mechanic and unbalanced answers from the computer to the player's actions. Several techniques can be applied to avoid or mitigate problems like that, e.g., with bio-inspired techniques, such as artificial neural networks, genetic algorithms or artificial immune systems. This work is a study about artificial immune systems and the application of artificial intelligence techniques in games.

Keywords: Artificial Immune Systems. Artificial Intelligence. Games.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de um Raciocínio Baseado em Casos	13
Figura 2 - Uma cidade litoral no <i>SimCity</i> 1	16
Figura 3 - Cientista conversando com um guarda da segurança	17
Figura 4 - Um exército marchando para batalha em <i>Medieval 2: Total War</i>	18
Figura 5 - Dois guardas em uma sala em <i>Thief</i>	19
Figura 6 - Uma família em uma casa em <i>The Sims</i>	20
Figura 7 - Uma criatura no jogo <i>Creatures 3</i>	21
Figura 8 - O personagem que o jogador controla em <i>Halo 3</i>	22
Figura 9 - O casal Trip e Grace em <i>Façade</i>	23
Figura 10 - <i>Gameplay</i> em <i>F.E.A.R.</i>	24
Figura 11 - Cena de <i>Black & White 2</i>	25
Figura 12 - Antígenos carregam moléculas que as definem como estrangeiras, os anticorpos fazem a identificação dessas células	27
Figura 13 - Diferentes mecanismos e tempo de reação da imunidade inata e adaptativa	29
Figura 14 – Processo de seleção clonal, as células podem se diferenciar em células de memória ou plasmócitos	32
Figura 15 - Na seleção negativa se linfócitos reconhecem os antígenos próprios eles são descartados	33
Figura 16 - Diagrama do algoritmo de seleção clonal proposto por (FORREST, PERELSON, <i>et al.</i> , 1994)	38
Figura 17 - Algoritmo de seleção negativa	38
Figura 18 - Diagrama de um exemplo do algoritmo de seleção positiva	39
Figura 19 – Algoritmo de seleção positiva	39
Figura 20 – Algoritmo de seleção clonal	41
Figura 21 - Exemplo de um <i>tower defense</i>	42
Figura 22 – Algoritmo baseado na seleção clonal, ele é chamado em toda fase	44
Figura 23 – Algoritmo usado na terceira simulação, usando um fator de mutação	47

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Gráfico 1 - Primeira simulação, usando seis tipos de unidades (A, B, C, D, E e F), começando o jogo com 4 unidades aleatórias e adicionando uma unidade a mais por turno. A quantidade máxima de turnos foi definida como sendo 20 e a quantidade mínima aceitável de pontuação foi 10.....	45
Gráfico 2 - Segunda simulação, usando seis tipos de unidades (A, B, C, D, E e F), começando o jogo com 4 unidades aleatórias e adicionando uma unidade a mais por turno. A quantidade máxima de turnos foi definida como sendo 20 e a quantidade mínima aceitável de pontuação foi 30.....	46
Gráfico 3 - Terceira simulação, média de valores dos atributos. A simulação foi iniciada com 20 unidades e pontuação mínima de 30.....	48
Tabela 1 – Valores ideais em cada estágio do jogo da terceira simulação. Quanto mais perto os atributos das unidades estiverem desses valores, maior vão ser suas pontuações.	47

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
CAPÍTULO 1 – INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM JOGOS.....	12
1.1 Áreas da Inteligência Artificial em Jogos.....	12
1.2 Jogos Importantes Para Inteligência Artificial	15
1.2.1 SimCity.....	15
1.2.2 Half-Life	16
1.2.3 Total War.....	17
1.2.4 Thief	18
1.2.5 The Sims	19
1.2.6 Creatures.....	20
1.2.7 Halo	21
1.2.8 Façade.....	22
1.2.9 F.E.A.R.....	23
1.2.10 Black & White.....	24
CAPÍTULO 2 - SISTEMA IMUNOLÓGICO BIOLÓGICO	26
2.1 Imunidade Inata e Imunidade Adaptativa.....	27
2.1.1 Sistema Imunológico Inato.....	27
2.1.2 Sistema Imunológico Adaptativo	28
2.2 Componentes e Processos da Imunidade Adaptativa	29
2.2.1 Células B e Células T	29
2.2.2 Seleção Clonal	30
2.2.3 Seleção Positiva e Negativa.....	32
2.2.4 Rede Imunológica.....	34
CAPÍTULO 3 - SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS.....	35
3.1 Algoritmos	37
3.1.1 Seleção Negativa	37
3.1.2 Seleção Positiva.....	38
3.1.3 Seleção Clonal	40
3.1.4 Redes Imunológicas.....	41
CAPÍTULO 4 - IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS	42
4.1 Experimentos Realizados	44
4.2 Conclusão	48
REFERÊNCIAS	50

INTRODUÇÃO

Os jogos vêm aumentando a imersão dos jogadores de várias formas, seja por gráficos realistas, histórias bem planejadas ou uma boa ambientação. Nesse contexto, outro aspecto importante a ser considerado é o desenvolvimento da inteligência artificial (IA).

A IA está presente nos jogos desde o nascimento dos videogames na década de 1970, sendo aplicada em diversos estilos e ambientes, desde os mais simples jogos como o jogo da velha até jogos de representação complexa, como os de simulação de voo ou de tiro em primeira pessoa que usam táticas de combate real. (RABIN, 2002) (CHARLES, 2007)

Em muitos casos, a complexidade dos ambientes torna o uso de algumas técnicas clássicas de inteligência artificial impraticável, em outros o desequilíbrio entre as ações do computador e a habilidade do jogador é muito grande. Esses são alguns dos motivos pelos quais o jogo não causa a imersão desejada e o jogador acaba desestimulado a continuar a jogar. (RABIN, 2002) (BOURG e SEEMANN, 2004)

Diversas técnicas vêm sido aplicadas na tentativa de suprir a necessidade de representar melhor ambientes complexos e de responder de forma mais natural às ações do jogador, por exemplo, técnicas bio-inspiradas, árvores de comportamento ou algoritmos de aprendizado. As técnicas bio-inspiradas possuem características interessantes que se enquadram nesse contexto, possibilitando a geração de um comportamento mais natural e um grande nível de abstração para tratar de problemas complexos. (BOURG e SEEMANN, 2004) (CHARLES, 2007)

A inteligência artificial bio-inspirada é o sub-campo da IA que explora as vantagens e propriedades de sistemas naturais. Algumas técnicas já são usadas em jogos com bastante aceitação, como as redes neurais artificiais, vida artificial ou algoritmos genéticos. Outras como os sistemas imunológicos artificiais (SIA) têm emergido nos últimos anos em aplicações nas mais diversas áreas, inclusive em jogos de computadores. (BOURG e SEEMANN, 2004)

Esse trabalho tem como objetivo estudar o uso da inteligência artificial de modo geral em jogos de computador, estudar as técnicas de sistemas imunológicos artificiais e suas bases biológicas, por último demonstrar a aplicabilidade das técnicas estudadas em jogos. Para esse último, será utilizado um jogo de *Tower Defense* como base de estudos.

CAPÍTULO 1 – INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM JOGOS

A inteligência artificial (IA) está presente nos jogos desde o nascimento dos videogames na década de 1970 e com o tempo ela tem se tornado um dos fatores críticos no sucesso de um jogo. (RABIN, 2002)

Os jogos de *arcade* (também conhecidos no Brasil como jogos de fliperama ou somente fliperama) foram os precursores no uso da inteligência artificial, a IA era cuidadosamente desenvolvida para garantir o interesse do jogador pela máquina. Jogos como *Pong*, *Pac-man* e *Space Invaders* usavam regras e sequências de *scripts* simples para combinar ações, deixando algumas decisões aleatórias para fazer com que o movimento da máquina ficasse menos previsível. Um exemplo da simplicidade das implementações nessa época é a versão *single player* do jogo *Pong* que usava uma IA rudimentar para controlar o oponente, a máquina simplesmente seguia a posição da bola, podendo ser mais lento ou mais rápido dependendo do nível de dificuldade. (RABIN, 2002) (CHARLES, 2007)

Hoje em dia a inteligência artificial está presente em praticamente todos os estilos de jogos, desde os mais simples jogos como o jogo da velha até jogos de representação complexa, como jogos de tiro em primeira pessoa que usam táticas de combate real ou jogos de simulação de voo.

Os jogos de estratégia estão entre os pioneiros no uso da inteligência artificial. Esse tipo de jogo normalmente requer um nível sofisticado de IA para manter o desempenho em tempo real e controlar as dezenas, centenas e às vezes milhares de unidades, além das táticas e estratégias usadas. Entre os jogos RTS (*Real-Time Strategy*) dois grandes títulos são consagrados por sua IA: *Warcraft II* foi o primeiro com uma inteligência artificial altamente competente e agradável e *Age of empires 2: The age of kings* tinha o oponente com IA mais desafiador da época. (RABIN, 2002)

1.1 Áreas da Inteligência Artificial em Jogos

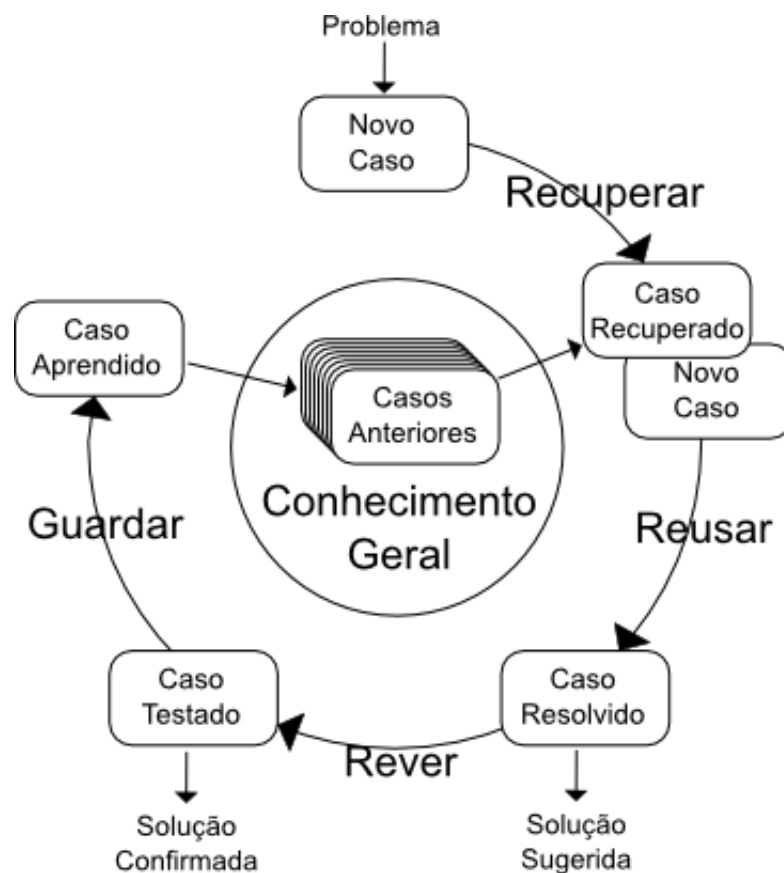
O campo da inteligência artificial pode ser dividido em diversas subáreas, grande parte delas pode ser usada em jogos de computadores, isoladamente ou em conjunto. Nessa seção são apresentadas algumas dessas técnicas:

- Os sistemas especialistas são sistemas que tentam reproduzir o conhecimento de um especialista humano, tomando como base o mesmo. Esses sistemas podem ser usados para ajudar os especialistas humanos a tomarem decisões ou até mesmo

substituí-los. Essa técnica pode ser usada em muitas áreas do conhecimento, mas encontra-se mais concentrada em algumas áreas como a de diagnósticos e resolução de problemas, planejamento, ajuda em decisão na área financeira, monitoração de processos, etc. (RAYNOR, 2009) (LOYOLA COLLEGE, 1993)

- Utilizando uma entrada de dados, o sistema usando a técnica de raciocínio baseado em casos (CBR - Case Based Reasoning) procura em seu banco de dados por configurações similares para fazer previsões ou inferências com base nos casos anteriores. Esse sistema é capaz de aprender através da adição de novos casos. De uma forma generalizada, um sistema CBR pode ser descrito em quatro processos (Figura 1): recuperar o caso mais similar entre os casos conhecidos; reusar a informação e o conhecimento do caso para resolver o problema; rever a solução proposta; guardar o novo caso para usar futuramente em outro problema. (RAYNOR, 2009) (AAMODT e PLAZA, 1994)

Figura 1 - Ciclo de um Raciocínio Baseado em Casos



- Uma máquina de estados finitos (MEF) é um modelo que tem um número finito de estados conectados em um grafo dirigido. A MEF pode estar somente em um estado ao mesmo tempo. A ideia por trás da máquina de estados é dividir o comportamento do objeto em uma forma fácil de manipular. O comportamento dos fantasmas no Pac-man é um exemplo do uso de máquina de estados finitos em jogos. (RABIN, 2002) (State-Driven Game Agent Design, 2010)
- Os sistemas de produção consistem em um banco de dados de regras, um componente para verificar as condições do sistema (*matcher*) e um procedimento para resolver conflitos entre as regras. As regras de produção consistem em condições e ações na forma de “*if x then y*”. O *matcher* é um componente para verificar essas condições usando algoritmos complexos que são mais eficientes do que uma simples função de verificação condição por condição. Os mecanismos de resolução de conflitos são necessários para quando acontecer de mais do que uma regra ser satisfeita ao mesmo tempo. (Production Systems, 2010)
- Árvore de decisão é um método de classificação em forma de árvore, onde a árvore representa uma sequência de decisões ou uma função de classificação ou regressão que ajuda escolher a melhor ação a ser tomada em uma situação específica. Uma variante importante dessa técnica é árvore de decisão de aprendizagem (*Decision Tree Learning*) que apesar de simples ainda é um dos mais bem sucedidos algoritmos de aprendizagem. (RUSSELL e NORVIG, 2002) (RABIN, 2002) (RAYNOR, 2009)
- Vida artificial é o nome dado ao estudo da vida natural através de simulações computacionais de sistemas biológicos. Define e estuda o comportamento de seres vivos sintéticos, normalmente como parte de um grupo. Esses sistemas tentam aplicar algumas regras universais de sistemas vivos para agentes de IA em um ambiente virtual. (JONES, 2008) (RABIN, 2002) (CHAMPANDAR, 2003)
- Para obter um comportamento mais real, alguns personagens controlados pelo computador (NPCs) ou criaturas devem andar em grupos. Um algoritmo de *flocking* usa um pequeno conjunto de regras simples que governam o comportamento de cada indivíduo em um grupo, assim é possível simular o comportamento de uma manada de elefantes, um bando de pássaros ou mesmo

um grupo humano de combate. (BOURG e SEEMANN, 2004) (CHARLES, 2007)

- Um algoritmo genético (GA - *Genetic Algorithm*) é uma técnica adaptativa baseada na teoria da evolução que simula o processo natural da evolução biológica usando os princípios da seleção natural e genética. Os algoritmos genéticos são usados para resolver problemas de buscas e otimizações. Cada indivíduo de uma população em um GA é representado por uma cadeia de valores binários e competem entre si durante várias iterações para selecionar os mais aptos para reprodução e evolução. (SHIU e PAL, 2004)
- As redes neurais artificiais (RNAs) são sistemas paralelos distribuídos compostos por unidades de processamento simples, chamados de neurônios, que tentam simular o funcionamento do cérebro. Os neurônios são agrupados em camadas e interligados por diversas conexões, na maioria dos modelos as conexões são associadas a pesos. Essa é uma das mais importantes técnicas da IA e tem diversas aplicações, como por exemplo, o controle de veículos, jogos (xadrez, corrida, damas, etc.), reconhecimento de padrões (identificação de faces, sons, objetos, etc.), diagnósticos médicos, aplicações financeiras, entre outras. (BRAGA, CARVALHO e LUDERMIR, 2007)

1.2 Jogos Importantes Para Inteligência Artificial

Essa seção é baseada em um artigo do site aigamedev.com (CHAMPANDARD, 2007), onde é apresentada uma lista dos dez jogos mais influentes para inteligência artificial.

1.2.1 *SimCity*

SimCity (Figura 2) é um jogo de simulação onde o jogador é o prefeito de uma cidade e precisa construir e manter residências, indústrias e muitas outras construções para deixar os habitantes da cidade satisfeitos.

O *SimCity* foi pioneiro nesse estilo de simulação complexa. Cada elemento do jogo é modelado de uma maneira realística, usando IA se necessário, principalmente nas versões mais recentes. Esse jogo provou o potencial do campo de vida artificial. (RABIN, 2002)

Figura 2 - Uma cidade litoral no *SimCity 1*

Fonte: <http://apertef5.com.br/por-tras-dos-games/por-tras-dos-games-os-generos-dos-jogos/>

1.2.2 *Half-Life*

Half-Life (Figura 3) é um jogo de tiro em primeira pessoa que faz parte do gênero de ficção científica e foi eleito o melhor jogo do ano em mais de cinquenta revistas ou mídias especializadas em diversos países. (VALVE CORPORATION, 2010)

As cenas de corte desse jogo são interativas, o jogador pode destruir coisas enquanto alguém lhe fala o que fazer a seguir. Para não interromper o jogo é usada uma combinação de *scripts* e inteligência artificial.

Outro uso interessante da IA no *Half-Life* é a capacidade de um guarda de segurança seguir o jogador durante alguns momentos do jogo e ajudá-lo em sua missão.

Figura 3 - Cientista conversando com um guarda da segurança



Fonte: <http://aigamedev.com/open/highlights/top-ai-games/>

1.2.3 *Total War*

Total War (Figura 4) é uma série que combina estratégia baseada em turnos com estratégia em tempo real para batalhas onde é possível controlar milhares de soldados ao mesmo tempo. Foi o primeiro a usar o recurso de controle de um número enorme de soldados sem problemas com desempenho.

O jogo ainda usa o fator emocional em grupos de soldados para simular batalhas reais, por exemplo, se um grupo de vinte soldados está cercado por um exército inimigo de cinco mil cavaleiros, os soldados fogem com medo.

A *engine* do *Total War* é usada na TV pelo canal *History Channel* como parte da série “*Decisive Battles*”.

Figura 4 - Um exército marchando para batalha em *Medieval 2: Total War*



Fonte: <http://www.ign.com>

1.2.4 Thief

“*Thief: The Dark Project*” (Figura 5) é um jogo em primeira pessoa onde o personagem principal é um ladrão na idade média. Os NPCs podem responder de forma realística à luz e sons, por causa disso o jogador precisa andar com cuidado e em silêncio para não ser detectado. Para conseguir esse comportamento baseado na percepção dos NPCs, o jogo usa um sistema avançado de sensores, proporcionando ações mais reais por parte dos personagens controlados pelo computador. (LEONARD, 2003)

Figura 5 - Dois guardas em uma sala em *Thief*



Fonte: <http://www.siggraph.org/>

1.2.5 *The Sims*

The Sims (Figura 6) é um jogo de simulação de vida onde o jogador controla uma família virtual. Nesse jogo existe interação emocional entre os personagens, podendo permitir relacionamentos. Cada personagem também tem desejos básicos que ajudam na hora deles escolherem as ações a tomar.

Figura 6 - Uma família em uma casa em *The Sims*



Fonte: <http://ofastigio.wordpress.com>

1.2.6 *Creatures*

Creatures (Figura 7) é um jogo de vida artificial onde o usuário controla algumas criaturas e os ensina como se comportarem. As criaturas podem se comunicar, alimentarem-se sozinhas e se protegerem de outros animais.

Esse jogo foi a primeira aplicação popular de aprendizado de máquina, é usado redes neurais para as criaturas aprenderem o que fazer.

Figura 7 - Uma criatura no jogo *Creatures 3*

Fonte: <http://aigamedev.com/>

1.2.7 Halo

Halo (Figura 8) é um jogo de tiro em primeira pessoa onde o jogador batalha contra vários alienígenas. Os inimigos nesse jogo podem procurar cobertura para disparar ou lançar granadas contra outros jogadores, além disso, a situação do pelotão influencia nos personagens, por exemplo, se o líder morrer os inimigos fogem ou tentam se afastar. Esse jogo também ajudou a popularizar a tecnologia de árvores comportamentais na indústria dos jogos.

Figura 8 - O personagem que o jogador controla em *Halo 3*



Fonte: <http://blogs.theage.com.au/>

1.2.8 Façade

Façade é um experimento na área de inteligência artificial que aplica algumas técnicas para geração de uma história interativa. O jogador fica no papel de um amigo de longa data do casal Trip e Grace (Figura 9), que passa por uma dificuldade no relacionamento. O jogador pode interagir com os personagens escrevendo textos na tela em inglês, isso controla a direção da história e dita o comportamento dos personagens. (PROCEDURAL ARTS, 2008)

Figura 9 - O casal Trip e Grace em *Façade*



Fonte: <http://www.interactivestory.net/>

1.2.9 *F.E.A.R.*

F.E.A.R. (Figura 10) um jogo de tiro em primeira pessoa onde o jogador ajuda a conter um fenômeno sobrenatural e um exército de soldados de clones. A inteligência artificial nesse jogo usa um *planner* para gerar comportamento sensível ao contexto, sendo o primeiro uso dessa tecnologia em um jogo popular. Os inimigos podem usar o ambiente ao favor deles, procurando cobertura atrás de caixotes, abrindo portas, etc.

Figura 10 - *Gameplay* em *F.E.A.R.*

Fonte: <http://girlsofwar.wordpress.com>

1.2.10 *Black & White*

No *Black & White* (Figura 11) o jogador fica no papel de uma entidade divina e tem o controle das criaturas do mundo, incluindo animais gigantes que podem aprender com o jogador, punindo ou recompensando a criatura por suas ações. O jogo inclui elementos de simulação de vida artificial e estratégia. As técnicas de árvores de decisão e redes neurais artificiais são usadas com grande sucesso.

Figura 11 - Cena de *Black & White 2*



Fonte: <http://compsimgames.about.com>

CAPÍTULO 2 - SISTEMA IMUNOLÓGICO BIOLÓGICO

O termo "imunidade" é definido como proteção contra doenças, mais especificamente doenças infecciosas. Tecidos, células e moléculas trabalham juntos para defender o organismo de ataques de invasores (tais como, bactérias, vírus, parasitas e fungos), formando dessa forma, um conjunto responsável pela imunidade, em outras palavras, formando um mecanismo contra infecções. Esse mecanismo é chamado de sistema imunológico. (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000) (ABBAS e LICHTMAN, 2008) (NATIONAL INSTITUTE OF ALLERGY AND INFECTIOUS DISEASES (U.S.) E NATIONAL CANCER INSTITUTE (U.S.), 2003)

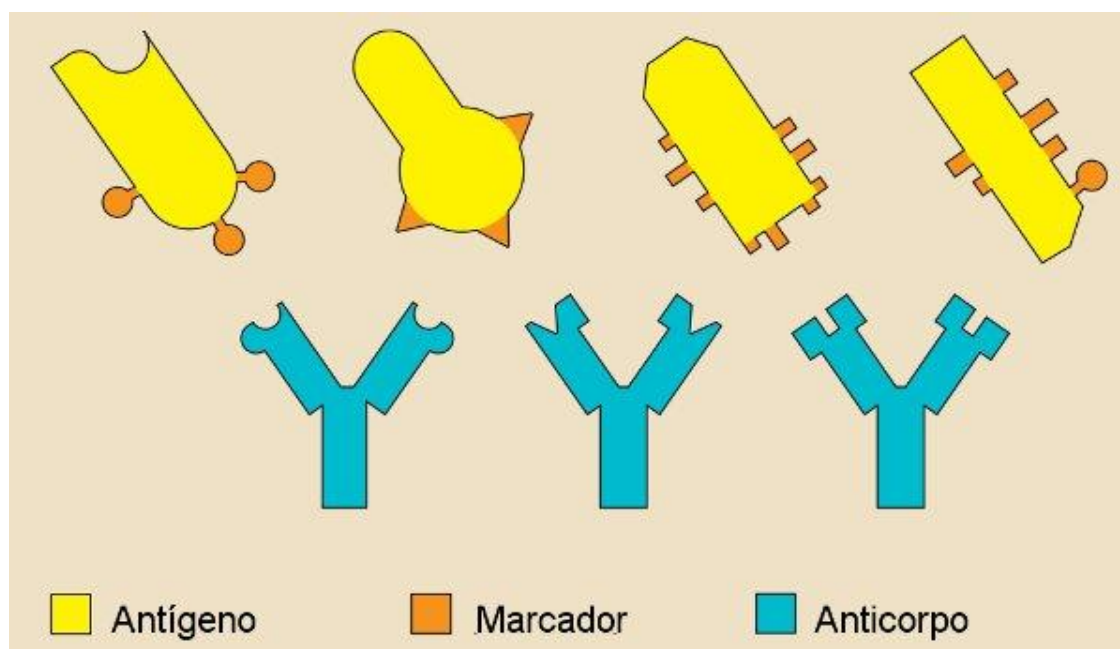
O corpo humano é um ambiente ideal com uma rica fonte de energia e materiais de alta qualidade que servem de nutrientes para que muitos micróbios possam sobreviver e se reproduzirem. Esses micróbios podem causar danos severos ao corpo, podendo até mesmo levar a morte, por esse motivo o sistema imunológico é indispensável para os seres humanos e sua sobrevivência. O perigo de um mau funcionamento desse sistema de defesa pode ser observado em pessoas com alguma deficiência imunológica, ficando suscetíveis a infecções. (CLARK, 2007) (ABBAS e LICHTMAN, 2008) (FLOREANO e MATTIUSI, 2008)

Os agentes que causam as doenças são chamados de patógenos, esses invasores tentam entrar em outros organismos para explorar seus recursos, os organismos por sua vez precisam identificar os invasores e eliminá-los, para isso o sistema imunológico do organismo hospedeiro precisa de um mecanismo capaz de identificá-los e subseqüentemente destruí-los. A reação coordenada das células e moléculas contra esses patógenos é chamada de resposta imune e o estudo dessas respostas somadas com o sistema imunológico em si é chamado de imunologia. (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000) (ABBAS e LICHTMAN, 2008) (FLOREANO e MATTIUSI, 2008)

Uma característica importante de um sistema imunológico é a habilidade de distinguir as células do hospedeiro e células de fora. Toda célula possui algumas moléculas que servem de marcadores para que o sistema imunológico possa identificar as próprias de invasoras, quando uma célula é identificada como sendo não própria, é disparada uma reação de defesa para eliminá-la. Qualquer coisa que provoca uma resposta imune é chamada de antígeno, que pode ser um micróbio ou apenas uma parte dele. A identificação de células invasoras é feita pelos anticorpos, os quais são gerados por um tipo de leucócito (ou glóbulo branco). Células e tecidos de outras pessoas (exceto gêmeos idênticos) também carregam marcadores que os definem como estrangeiros. (CLARK, 2007)

A Figura 12 ilustra de maneira simples a estrutura dos antígenos e a relação dos marcadores com os anticorpos.

Figura 12 - Antígenos carregam moléculas que as definem como estrangeiras, os anticorpos fazem a identificação dessas células.



Fonte: (NATIONAL INSTITUTE OF ALLERGY AND INFECTIOUS DISEASES (U.S.) E NATIONAL CANCER INSTITUTE (U.S.), 2003)

2.1 Imunidade Inata e Imunidade Adaptativa

O sistema imunológico pode ser dividido basicamente em dois sistemas inter-relacionados: sistema imunológico inato, e sistema imunológico adaptativo (também chamados de imunidade natural ou nativa e imunidade adquirida ou específica, respectivamente). Os dois sistemas trabalham de formas distintas, mas tentam alcançar o mesmo objetivo: proteger o organismo. (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000) (ABBAS e LICHTMAN, 2008) (CASTRO e ZUBEN, 1999)

2.1.1 Sistema Imunológico Inato

A primeira linha de defesa contra os invasores é o sistema inato, o qual sempre está presente em um indivíduo saudável, protegendo o corpo desde seu nascimento. Esse sistema é composto por mecanismos de defesa celulares e bioquímicos, os quais respondem rapidamente às infecções, podendo destruir os patógenos logo no primeiro encontro. A primeira defesa do organismo é formada pela barreira epitelial e antibióticos naturais

presentes no epitélio, esses componentes tem a função de bloquear a passagem de micróbios, os que passam pela barreira epitelial logo são atacados por fagócitos, células NK (do inglês *Natural Killer Cells*) e proteínas do sangue. Todos os mecanismos presentes no sistema inato são específicos para estruturas comuns a grupos de micróbios relacionados e podem não distinguir bem as substâncias estrangeiras. (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000) (ABBAS e LICHTMAN, 2008) (CASTRO e ZUBEN, 1999)

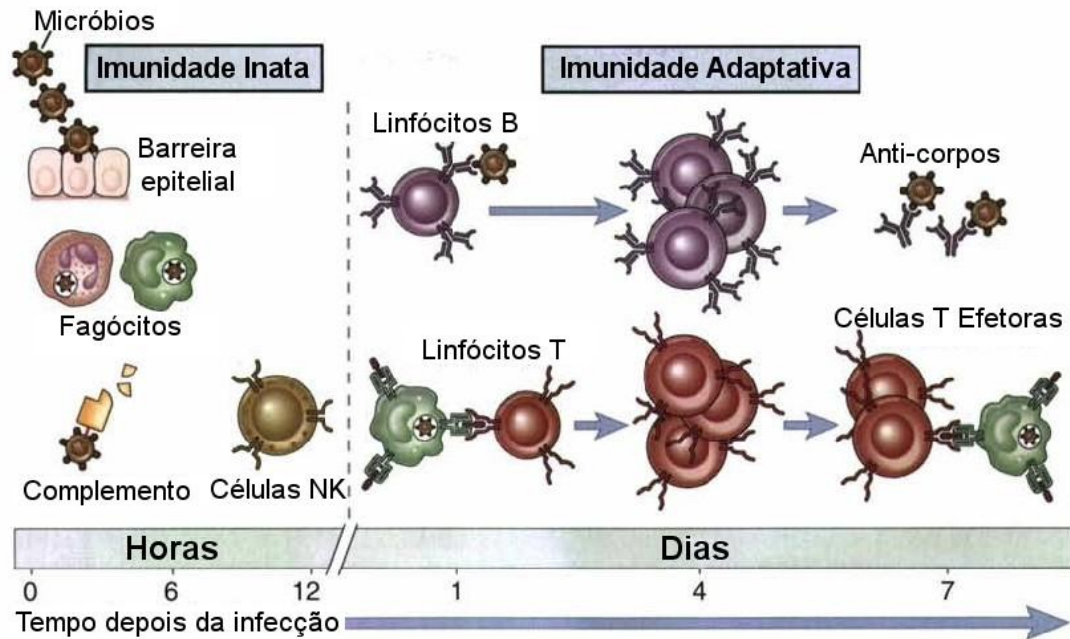
2.1.2 Sistema Imunológico Adaptativo

O sistema inato fornece uma proteção inicial efetiva contra infecções, mas com o tempo os patógenos evoluem e criam meios de resistir a esse sistema. O sistema imunológico adaptativo tem a função de identificar e eliminar os invasores que conseguem passar pelo sistema inato. Ele tem a importante característica de distinguir os micróbios e moléculas próprias de não próprias de maneiras bastante eficientes. (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000) (ABBAS e LICHTMAN, 2008)

Outra característica muito importante do sistema adaptativo é a capacidade de memória, sendo capaz de lembrar micróbios, conseguindo responder a esses de forma mais eficaz quando encontrados novamente. Diferente do sistema inato, o adaptativo se desenvolve conforme o tempo, se adaptando a cada nova infecção. (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000) (ABBAS e LICHTMAN, 2008)

Os principais componentes do sistema imunológico adaptativo são os linfócitos (um tipo de leucócito) e seus subprodutos, tais como anticorpos. Esses componentes reconhecem especificamente diferentes substâncias produzidas pelos micróbios ou moléculas não infecciosas, diferente do sistema inato que reconhece estruturas compartilhadas por classes de micróbios. O sistema adaptativo também tem um tempo de resposta mais lento que o sistema inato, a Figura 13 ilustra esse tempo e os mecanismos de cada defesa. (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000) (ABBAS e LICHTMAN, 2008)

Figura 13 - Diferentes mecanismos e tempo de reação da imunidade inata e adaptativa



Fonte: (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000)

As respostas imunes do sistema adaptativo podem ser divididas em dois tipos: imunidade humoral e imunidade celular, os quais usam diferentes componentes e funções do sistema imunológico para eliminar diferentes tipos de micróbios.

A imunidade humoral é mediada por moléculas presentes no sangue e anticorpos, que são produzidos pelos linfócitos B (também chamados de células B). Essa resposta imune é a principal defesa do corpo contra microorganismos extracelulares e suas toxinas. A imunidade celular é mediada por linfócitos T (também chamados de células T) e combate microorganismos intracelular, tais como vírus e alguns tipos de bactérias. Essa resposta é a defesa contra infecções, destruindo micróbios que residem em fagócitos ou matando células infectadas. (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000)

2.2 Componentes e Processos da Imunidade Adaptativa

2.2.1 Células B e Células T

As células B e T possuem a importante característica de reconhecer antígenos através de receptores localizados em suas superfícies. A principal função das células B é a produção e secreção de seus receptores (receptores BCR) como resposta à patógenos, os receptores são secretados na forma de anticorpos quando essas células são ativadas. O reconhecimento

celular ocorre em nível molecular e é baseado na complementaridade entre a região que liga o receptor e uma pequena parte do antígeno chamada de epítipo. Cada célula B produz um tipo único de anticorpo e cada anticorpo pode reconhecer apenas um tipo de antígeno. (CASTRO e TIMMIS, 2002) (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000)

Os anticorpos basicamente colaboram com a imunidade de três formas: neutralizando os efeitos de toxinas e impedindo-as de entrar nas células, revestindo um patógeno para que ele não possa fazer ligação e conseqüentemente invadir outras células e também podendo se ligar ao patógeno a fim de ativar proteínas do sistema complemento que por sua vez induzem reações inflamatórias auxiliando no combate à infecção. (CASTRO e TIMMIS, 2002) (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000) (ABBAS e LICHTMAN, 2008)

As células T diferem dos linfócitos B por possuírem um receptor especial (receptores TCR) em sua superfície, com o qual elas identificam pequenos fragmentos de antígenos na superfície de células infectadas ou cancerígenas. Essas células contribuem à defesa imune de duas maneiras principais: regulando as repostas imunes e atacando células infectadas. (CASTRO e ZUBEN, 1999) (NATIONAL INSTITUTE OF ALLERGY AND INFECTIOUS DISEASES (U.S.) E NATIONAL CANCER INSTITUTE (U.S.), 2003)

Os linfócitos T podem ser divididos em três principais subclasses: Linfócitos T Auxiliares (*T Helper cells*), Linfócitos T Citotóxicos (*Cytotoxic cells*) e Linfócitos T Supressores (*Suppressor T cells*). Os linfócitos T auxiliares coordenam a resposta imune se comunicando com outras células e estimulando linfócitos B para produzirem anticorpos (ou até mesmo estimulando outras células T). Os citotóxicos são capazes de eliminar micróbios invasores, vírus ou células cancerígenas, reconhecendo pequenos fragmentos e lançando um ataque para matar essas células. Os linfócitos supressores são vitais para a manutenção das repostas imunes, pois inibem a ação de algumas células imunes, se isso não acontecer o sistema imunológico perde o controle, podendo ocasionar doenças auto-imunes (onde os linfócitos atacam células do próprio organismo). (CASTRO e ZUBEN, 1999) (NATIONAL INSTITUTE OF ALLERGY AND INFECTIOUS DISEASES (U.S.) E NATIONAL CANCER INSTITUTE (U.S.), 2003)

2.2.2 Seleção Clonal

Cada linfócito possui diferentes peculiaridades em seus receptores, fazendo com que possam reconhecer diferentes antígenos. Quando um patógeno é reconhecido o sistema imune deve ter a quantidade necessária de células com a mesma afinidade para eliminá-lo, mas em

um estado inicial a número de linfócitos capazes de identificar o mesmo antígeno é limitada. Para produzir células suficientes com um receptor específico para combater uma infecção, o sistema imunológico deve ter um processo que consiga suprir essa demanda. Esse processo é chamado de seleção clonal e ocorre dentro de linfonodos em um micro ambiente chamado de centro germinativo (GC). (CASTRO e ZUBEN, 1999) (CASTRO e TIMMIS, 2002)

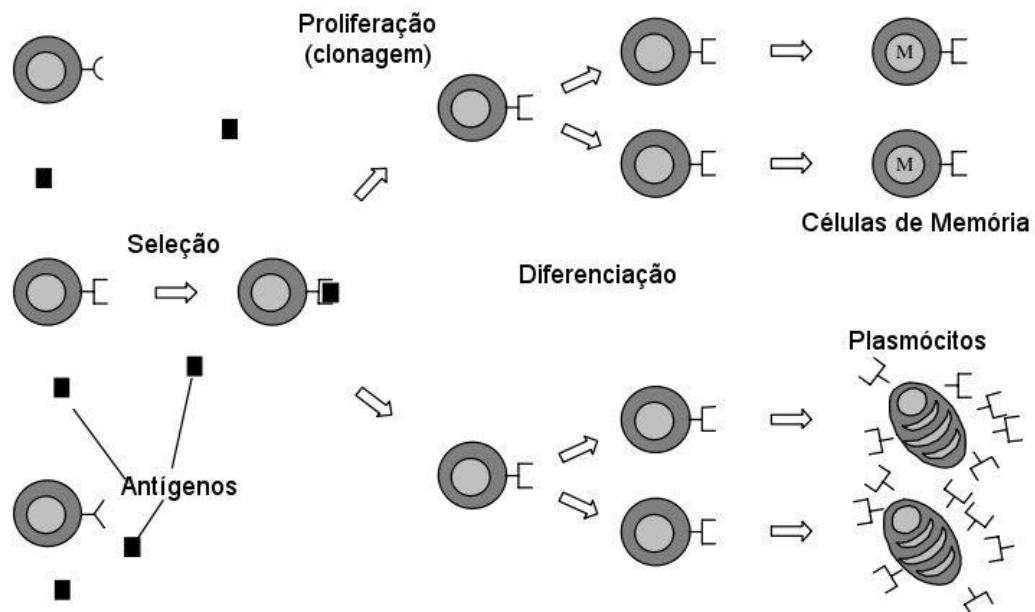
A teoria da seleção clonal (ou expansão clonal) é usada para descrever a propriedade básica de uma resposta imune ao estímulo de um antígeno. Essa teoria estabelece a ideia de que somente as células que reconhecem os antígenos proliferem, dessa forma alcançando a quantidade mínima necessária para eliminar os patógenos identificados. A seleção clonal atua tanto com células B quanto células T. (CASTRO e ZUBEN, 1999) (CASTRO e TIMMIS, 2002)

Quando um animal é exposto a um antígeno, os linfócitos B respondem produzindo anticorpos. Cada linfócito secreta apenas um tipo de anticorpo, o qual é relativamente específico àquele antígeno. Com um segundo sinal de células auxiliares, os linfócitos ativados pelos antígenos são estimulados a se proliferarem. Além do processo de multiplicação, os linfócitos podem passar por uma diferenciação, tornando-se células de memória. (CASTRO e ZUBEN, 1999) (CASTRO e TIMMIS, 2002)

As células de memória não produzem anticorpos, mas quando identificam antígenos, fazem um processo de diferenciação, gerando muitos plasmócitos capazes de produzir anticorpos com alta afinidade, pré-selecionados especificamente para o antígeno que estimulou a resposta. Os plasmócitos são células que produzem um alto volume de anticorpos em um período de tempo menor. (CASTRO e ZUBEN, 1999)

A teoria da seleção clonal também propõe que os linfócitos que reagem ao encontrar células do hospedeiro (células próprias) sejam descartadas antes da sua maturação. A Figura 14 ilustra o processo de seleção clonal. (CASTRO e TIMMIS, 2002)

Figura 14 – Processo de seleção clonal, as células podem se diferenciar em células de memória ou plasmócitos



Fonte: (CASTRO e ZUBEN, 1999)

Basicamente, as principais funções e características na teoria da seleção clonal são: (CASTRO e ZUBEN, 1999) (CASTRO e TIMMIS, 2002)

- **Seleção Negativa:** é a eliminação dos recém-criados linfócitos que reagem às células próprias (que reconhecem antígenos próprios).
- **Expansão Clonal:** é o processo de proliferação e diferenciação de linfócitos maduros ao contato com antígenos estrangeiros.
- **Mono-especificidade:** trata da retenção do padrão de reconhecimento da célula diferenciada por seus linfócitos descendentes.
- **Hipermutação somática:** geração de mutações genéticas aleatórias nos padrões a fim de acelerar a hipermutação somática.
- **Auto-Imunidade:** a persistência de clones que resistem à seleção negativa.

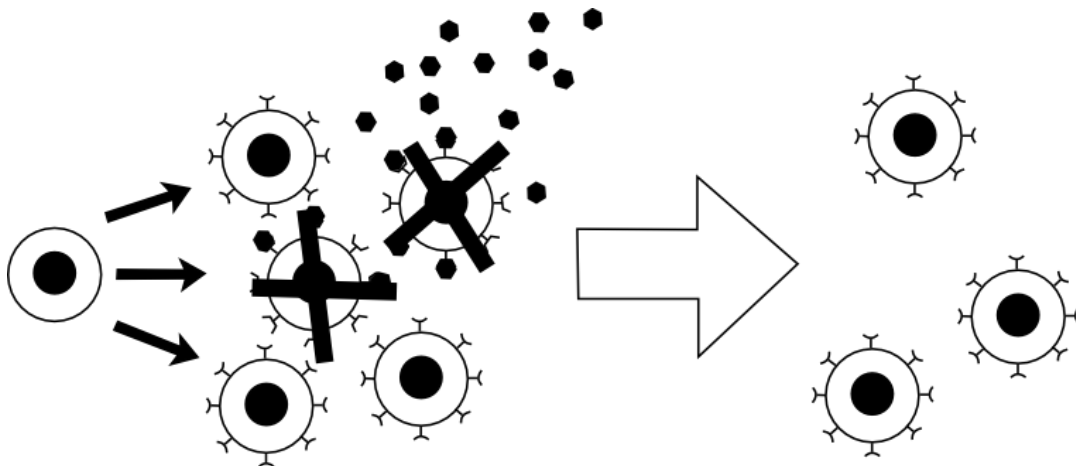
2.2.3 Seleção Positiva e Negativa

Durante o processo de criação dos linfócitos B e T algumas células podem não se desenvolver (não adquirindo receptores) ou não conseguir adquirir uma capacidade mínima para o reconhecimento de antígenos (receptores não produtivos para o organismo). O processo de seleção positiva serve para evitar o acúmulo desses linfócitos, selecionando apenas células

produtivas e úteis para o corpo. (CASTRO e TIMMIS, 2002) (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000)

Tratando-se dos linfócitos T, toda célula precisa reconhecer antígenos especiais, chamados de CHP (complexo de histocompatibilidade principal) encontrados em moléculas do próprio sistema. No desenvolvimento das células T, antes de sua maturação, elas são selecionadas pela capacidade de reconhecer esses antígenos especiais, as células que não reconhecem são mortas. Como conseqüências do processo da seleção positiva, pode-se dizer que as células T são desenvolvidas em células funcionais imunocompetentes e o tempo de vida delas é aumentado. (T cell Classification, 2010) (CASTRO e TIMMIS, 2002) (ABBAS, POBER e LICHTMAN, 2000)

Figura 15 - Na seleção negativa se linfócitos reconhecem os antígenos próprios eles são descartados



No processo de seleção negativa (Figura 15) acontece o inverso: se os linfócitos reconhecem antígenos próprios eles são descartados. Essa característica de não assimilar células próprias de células invasoras é chamada de tolerância imunológica e também é definida no desenvolvimento dos linfócitos. Antes da maturação é apresentado milhares de células próprias para os linfócitos, se algum deles ligar à uma célula apresentada, o encontro ativa um mecanismo de auto-destruição e o linfócito morre. A seleção negativa é um dos processos mais importantes do sistema imunológico, pois uma má funcionalidade nesse processo acarreta em doenças auto-imunes. (NATIONAL INSTITUTE OF ALLERGY AND INFECTIOUS DISEASES (U.S.) E NATIONAL CANCER INSTITUTE (U.S.), 2003) (AISWeb: The Online Home of Artificial Immune Systems, 2009)

2.2.4 Rede Imunológica

A teoria da rede imunológica inicialmente surgiu como um novo ponto de vista sobre as atividades dos linfócitos, produção de anticorpos, seleção do repertório pré-imune, tolerância imunológica, distinção de células próprias e não próprias, memória e evolução do sistema imune. Foi proposto que o sistema imunológico é composto por uma rede regulada de moléculas e células que se reconhecem mesmo sem a presença de antígenos. Essa visão era conflitante com a teoria da seleção clonal, já existente na época e que assumia que o sistema imunológico era composto por um conjunto de clones que inicialmente ficavam inertes até que fossem estimulados por antígenos. (CASTRO e ZUBEN, 1999) (CASTRO e TIMMIS, 2002)

Na rede imunológica uma parte do sistema imune interage e afeta a produção ou supressão de outras partes, estimulando a proliferação e ativação de células ou levando à tolerância da mesma. (CHARLES, 2007) (CASTRO e ZUBEN, 1999)

CAPÍTULO 3 - SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS

O sistema imunológico biológico possui diversas propriedades importantes ao ponto de vista computacional, pois é um sistema natural com um conjunto de funcionalidades diversificadas e poderosas trabalhando ao mesmo tempo, características que são dificilmente encontradas em outros sistemas biológicos. (CASTRO e TIMMIS, 2002) lista algumas dessas propriedades:

- Reconhecimento de padrões: o sistema tem a capacidade de reconhecer grupos de micróbios com as mesmas peculiaridades.
- Unicidade: cada pessoa e animal possuem um sistema imune diferente, no sentido de ter diferentes vulnerabilidades e capacidades.
- Identidade própria: a unicidade do sistema permite que tecidos, células e moléculas que não fazem parte do corpo sejam reconhecidos e destruídos.
- Diversidade: diversos elementos trabalhando juntos para um objetivo em comum, mesmo que eles atuem de formas diferentes.
- Descartabilidade: nenhuma célula é importante individualmente para o sistema imune, conforme o tempo elas morrem e são substituídas por outras.
- Autonomia: não existe um componente central que controla o sistema imunológico, também não é necessário uma intervenção externa ou manutenção geral.
- Multicamadas: múltiplas camadas de diferentes mecanismos atuam de forma cooperativa ou competitiva.
- Sem camadas seguras: qualquer célula no organismo pode ser atacada pelo sistema, até mesmo suas próprias.
- Detecção de anomalias: pode reconhecer patógenos que nunca encontraram antes.
- Distributividade: as células, moléculas e órgãos estão distribuídos pelo corpo sem um componente principal.
- Tolerância a ruído: não é necessário o reconhecimento absoluto de um patógeno.
- Resiliência: o sistema pode diminuir suas funções para poupar energia.
- Tolerância à falhas: se uma resposta imune é ineficiente para eliminar os patógenos o sistema realoca ou substitui os recursos.

- Aprendizado e memória: as células podem se adaptar, estruturalmente ou em número para enfrentar alguma ameaça. Ao reconhecer os patógenos, o sistema retém informações necessárias para melhorar o tempo de resposta e eficiência contra os mesmos nos próximos encontros.
- Auto-organização: quando um patógeno é reconhecido pelo sistema, não há nenhuma informação de como as células devem agir, elas trabalham por si cooperativamente.
- Integração com outros sistemas: o sistema imune se comunica com outras partes do corpo, podendo influenciar ou sendo influenciado pelo seu comportamento.

Um sistema imunológico artificial (SIA), como o próprio nome sugere, é um modelo computacional inspirado no funcionamento do sistema imune biológico e pode ser usado em diversas aplicações utilizando uma ou mais das características citadas acima, por exemplo, em problemas de reconhecimento de padrões, detecção de falhas, detecção e eliminação de vírus, detecção de intrusão, entre outras. (DASGUPTA, 2006)

Na literatura sobre SIA pode-se encontrar mais definições

- Timmis e Neal dizem em (TIMMIS e NEAL, 2000) que um sistema imunológico artificial é um sistema computacional baseado na metáfora do sistema imune natural.
- Dasgupta define em (DASGUPTA, 1999) como metodologias inteligentes inspiradas pelo sistema imunológico para resolver problemas no mundo real.
- Castro e Timmis propõe em (CASTRO e TIMMIS, 2002) uma concepção generalizada dizendo que os sistemas imunológicos artificiais são sistemas adaptativos inspirados por princípios e modelos da imunologia teórica e de observações das funções imunes.

Essa área é parte de um subconjunto da inteligência artificial chamada de computação natural (ou computação bio-inspirada). Emergiu na década de 90 e é relativamente nova comparada com outras abordagens mais conhecidas e estabilizadas, tais como redes neurais artificiais, vida artificial, sistemas Fuzzy, etc. (CASTRO e TIMMIS, 2002) (DASGUPTA, 2010)

3.1 Algoritmos

Existem diversos modelos e algoritmos inspirados no sistema imunológico, aqui será apresentado apenas uma parte deles.

3.1.1 Seleção Negativa

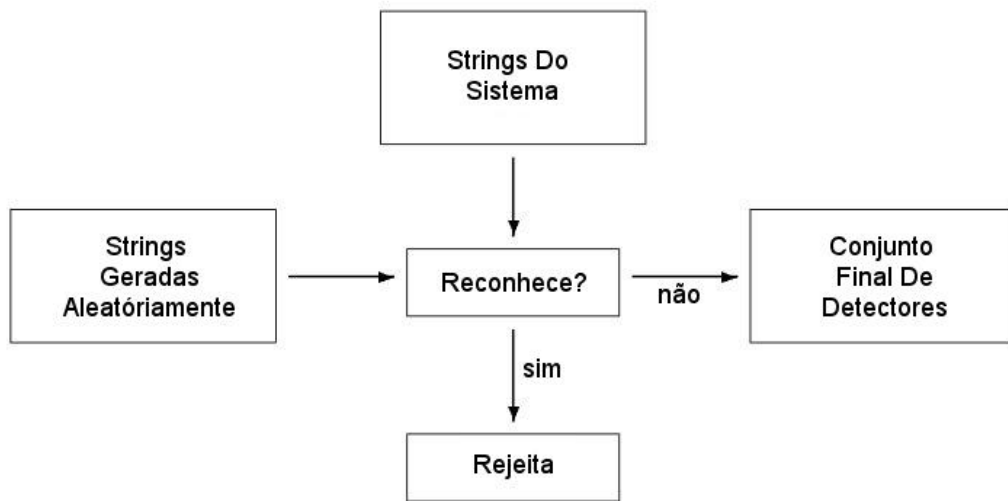
No contexto biológico a seleção negativa é responsável por remover os linfócitos que reagem à moléculas do próprio organismo e acontece no desenvolvimento dos mesmos, antes da maturação. Esse processo garante que os linfócitos percorram o corpo sem causar respostas imunes falsas. (AISWeb: The Online Home of Artificial Immune Systems, 2009) (CASTRO e TIMMIS, 2002)

O algoritmo de seleção negativa é inspirado nesse mecanismo biológico, sendo um dos primeiros modelos de AIS, proposto pela primeira vez em (FORREST, PERELSON, *et al.*, 1994) para detecção de mudança de dados causada por vírus, no campo de segurança computacional. Esse modelo é um dos métodos de detecção de recursos próprios e não próprios. (CASTRO e TIMMIS, 2002) (DASGUPTA, 2006) (AISWeb: The Online Home of Artificial Immune Systems, 2009) (JI e DASGUPTA, 2009)

No algoritmo proposto (Figura 16) as células T são representadas por cadeias de *strings* de tamanho fixo e a partir de um conjunto de strings do sistema é possível gerar um repertório de detectores para monitorar os dados protegidos. Esse processo pode ser definido em três fases: (CASTRO e TIMMIS, 2002) (FORREST, PERELSON, *et al.*, 1994) (DASGUPTA, 2006)

- 1 Geração de um conjunto aleatório de *strings* para o repertório inicial de detectores, todas de um tamanho fixo pré-determinado.
- 2 Comparação com as *strings* do sistema, os elementos do repertório inicial que reconhecerem qualquer uma dessas *strings* são rejeitados.
- 3 Os detectores que passarem pelo segundo passo entram para o repertório final com a garantia de que não vão reconhecer nenhuma string dos dados protegidos do sistemas.

Figura 16 - Diagrama do algoritmo de seleção clonal proposto por (FORREST, PERELSON, *et al.*, 1994)



Fonte: (FORREST, PERELSON, *et al.*, 1994)

De forma genérica, o algoritmo de seleção negativa pode ser expresso da seguinte forma (Figura 17):

Figura 17 - Algoritmo de seleção negativa

Entradas: Conjunto S de elementos próprios

Saída: Conjunto de detectores

começo

repita

Gerar randomicamente potenciais detectores, coloca-os no conjunto P.

Determinar a afinidade de cada elemento de P com cada elemento do conjunto S.

Se pelo menos um elemento de S for reconhecido por um detector do conjunto P

Então o detector que reconheceu é removido

Senão colocar o detector no conjunto de saída.

até que seja gerado um número suficiente de detectores.

fim

Fonte: <http://www.artificial-immune-systems.org/algorithms.shtml>

3.1.2 Seleção Positiva

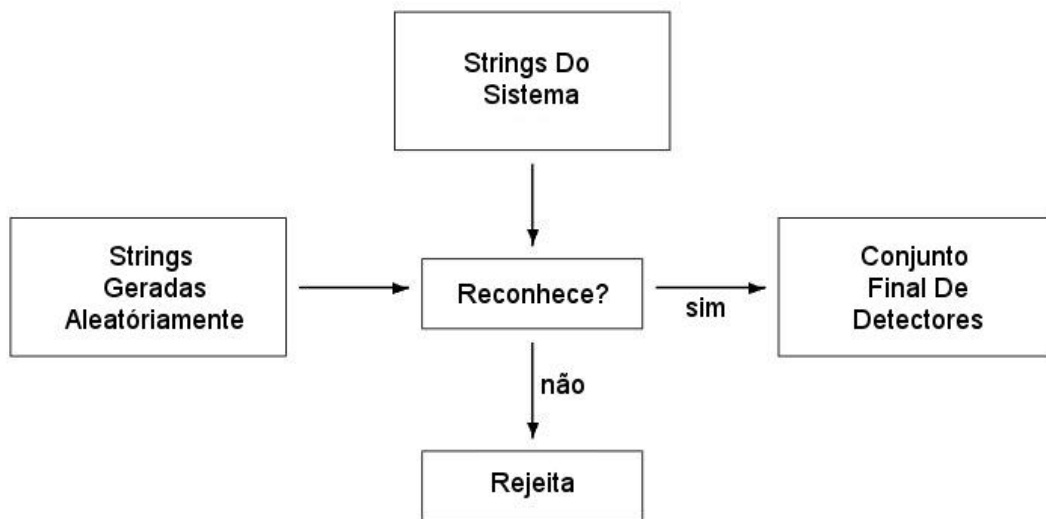
No processo de seleção positiva, somente os linfócitos que reconhecerem as moléculas CHP próprias são levados à maturação, fazendo com que essas células tenham a restrição de só reconhecerem antígenos no contexto dessas moléculas. (CASTRO e TIMMIS, 2002)

Esse algoritmo (Figura 18) é semelhante à seleção negativa, pode-se tomar como exemplo o uso de *strings* de tamanho fixo para representar as células T, também deve ser

fornecido um conjunto de strings do sistema para o processo. Da mesma forma que o algoritmo anterior, esse pode ser dividido em três fases: (CASTRO e TIMMIS, 2002)

1. Geração de um conjunto aleatório de *strings* para repertório inicial de detectores, todos de um tamanho fixo pré-determinado.
2. Comparação com as *strings* do sistema, os elementos do repertório inicial que reconhecerem qualquer uma dessas *strings* são selecionados.
3. Os detectores que sobrarem do segundo passo são rejeitados e não entram no repositório final.

Figura 18 - Diagrama de um exemplo do algoritmo de seleção positiva



De forma genérica, o algoritmo de seleção positiva pode ser expresso da seguinte forma (Figura 19):

Figura 19 – Algoritmo de seleção positiva

Entradas: Conjunto S de elementos próprios

Saída: Conjunto de detectores

começo

repita

Gerar randomicamente potenciais detectores, coloca-los no conjunto P.

Determinar a afinidade de cada elemento de P com cada elemento do conjunto S.

Se um detector do conjunto P não reconheceu nenhum elemento do conjunto S

Então o detector é removido

Senão colocar o detector no conjunto de saída.

até que seja gerado um número suficiente de detectores.

fim

3.1.3 Seleção Clonal

Se um ou mais antígenos são encontrados, o sistema imunológico precisa produzir células suficientes para eliminá-los, isso acontece através do processo de seleção clonal, onde os linfócitos que foram estimulados pelos antígenos são usados como modelos para gerar novas células. Esse mecanismo faz com que as novas células produzidas possuam receptores capazes de identificar os mesmo antígenos.

A seleção clonal é válida tanto para células B quanto células T, a diferença é que as células B sofrem hipermutação somática para aumentar a afinidade com os antígenos reconhecidos e as células T não. Por causa da adaptabilidade via mutação das células B, os algoritmos clonais geralmente são modelados com base nelas. (CASTRO e TIMMIS, 2002)

Entre os algoritmos baseados do princípio da seleção clonal o CLONALG se destaca, sendo um dos mais populares e usados. Proposto em (CASTRO e ZUBEN, 2002), o algoritmo inicialmente foi desenvolvido para aplicações de reconhecimento de padrões e depois adaptado para resolver tarefas de otimização. O CLONALG também possui algumas características do processo biológico tais como: (CASTRO e TIMMIS, 2002) (AISWeb: The Online Home of Artificial Immune Systems, 2009) (CASTRO e ZUBEN, 2002) (CASTRO e ZUBEN, 1998)

- Manutenção das células de memória
- Seleção e reprodução das células mais estimuladas
- Morte das células menos estimuladas
- Maturação de afinidade
- Reseleção dos clones com maiores afinidades com antígenos
- Geração e manutenção de diversidade

O algoritmo CLONALG (Figura 20) trabalha com duas populações: a população de antígenos Ag (padrões à serem reconhecidos) e a população de anticorpos P. Os anticorpos e antígenos são representados por cadeias de strings de tamanho fixo. Depois de uma inicialização aleatória da população P o algoritmo determina a afinidade dos elementos criados para todos os indivíduos da população Ag, selecionando para clonagem os que tiverem mais afinidade e no final gerando um conjunto de memória. (AL-SHESHTAWI, ABDUL-KADER e ISMAIL, 2010) (AISWeb: The Online Home of Artificial Immune Systems, 2009)

Figura 20 – Algoritmo de seleção clonal

Entradas: Conjunto S de padrões à serem reconhecidos.

Saída: Conjunto de memória capaz de classificar padrões desconhecidos.

começo

Criar um conjunto A de anticorpos gerados aleatoriamente.

para todos padrões em S

Determinar a afinidade de cada anticorpo de A.

Gerar clones do sub-conjunto de anticorpos de A com maiores afinidades.

Fazer a mutação dos atributos dos clones.

Fazer uma cópia dos anticorpos de mais afinidades para o conjunto de memória.

Substituir os anticorpos em A com menor afinidade por outros gerados aleatoriamente.

fim

fim

Fonte: <http://www.artificial-immune-systems.org/algorithms.shtml>

3.1.4 Redes Imunológicas

A teoria da rede imunológica propõe que o sistema imune possui um comportamento dinâmico e ativo mesmo sem estímulo externo, uma visão contrária ao princípio da seleção clonal, onde o sistema imunológico fica sem atividade até que haja o estímulo. (CASTRO e TIMMIS, 2002)

No contexto computacional, as redes imunológicas podem ser divididas em dois modelos: modelos contínuos e modelos discretos. Os modelos contínuos de rede são baseados em equações diferenciais, as quais podem ser aplicadas em vários problemas complexos, os modelos discretos usam equações de diferença ou processos iterativos de adaptação. (CASTRO e TIMMIS, 2002) (CASTRO e ZUBEN, 1998)

Um exemplo de rede imunológica é a aiNe, proposta em (CASTRO e ZUBEN, 2000). Nesse modelo a rede também é inicializada com elementos aleatórios representando anticorpos, depois é apresentado o conjunto de antígenos e calculado a afinidade de cada elemento dos dois conjuntos. Os anticorpos com mais afinidade são selecionados e clonados, em seguida eles passam por uma mutação (quanto maior a afinidade menor a taxa de mutação). Um número de clones com alta afinidade é selecionado como células de memória. Depois é calculado o nível de afinidade dos anticorpos restantes e os que possuírem um nível inferior à um limite pré-determinado são excluídos. O processo é repetido até seja alcançado o número pré-definido de iterações. (CASTRO e TIMMIS, 2002) (CASTRO e ZUBEN, 2000)

CAPÍTULO 4 - IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Para demonstrar o uso das técnicas de sistemas imunes na área de jogos, foi escolhido usar como base um jogo no estilo de *tower defense*. Esse é um estilo de jogo de estratégia onde o objetivo é tentar parar os inimigos para que não cheguem a seu destino (normalmente um local específico do mapa). A Figura 21 mostra um exemplo de *tower defense*. (Information about Tower Defence, 2007)

As unidades inimigas são elementos móveis que percorrem o mapa por um caminho predeterminado ou por entre um labirinto feito pelas torres do jogador. As torres por sua vez não podem se mover, mas atacam qualquer unidade inimiga a seu alcance. Tanto torres como unidades de ataque possuem características e poderes diferentes dependendo do jogo.

Durante o desenvolvimento desse trabalho, não foi encontrado nenhum jogo nesse estilo que permitisse mais de um jogador ao mesmo tempo e nem que o jogador pudesse controlar as unidades atacantes. Também não foi verificado nenhum jogo usando qualquer tipo de inteligência artificial para controlar as unidades atacantes.

Figura 21 - Exemplo de um *tower defense*



O jogo proposto será dividido em turnos com três fases: manutenção, ação e verificação de resultados. Na primeira fase o jogador de ataque escolhe as unidades que percorrerão o mapa e o jogador de defesa posicionará suas torres. Em seguida entra a fase de ação, onde os jogadores não poderão "atuar", pois ela serve apenas para calcular os combates e mostrar a animação (no caso da implementação visual). Por último, os resultados serão verificados para definir se chegou ao final do jogo ou não. O jogo terminará quando um dos jogadores alcançarem uma quantidade pré-definida de pontos ou quando for atingida a quantidade máxima de turnos.

Para que cada elemento tenha características diferentes, as torres e as unidades de ataque possuirão três atributos com valores variáveis. Os atributos das torres são velocidade de ataque, raio de visão e dano por ataque. Para as unidades de ataque os atributos são velocidade de movimentação, capacidade de defesa e quantidade de pontos de vida. Cada um desses atributos define uma característica diferente:

Para torres:

- Velocidade de ataque: quantidade de tiros por segundo a torre pode disparar contra o(s) inimigo(s).
- Raio de visão: define o quão longe os ataques da torre poderão chegar.
- Dano por ataque: quantidade de pontos de dano a torre causará aos inimigos em cada ataque.

Para as unidades de ataque:

- Velocidade de movimentação: define o quanto uma unidade vai andar em um segundo.
- Capacidade de defesa: o valor de defesa reflete na quantidade de dano que será absorvida à cada ataque das torres.
- Pontos de vida: esse valor define quanto dano a unidade é capaz de receber, se os pontos de vida chegarem a zero então a unidade é destruída.

A princípio o desenvolvimento da inteligência artificial ficou apenas para o jogador atacante, usando um sistema imunológico artificial para selecionar as unidades mais eficazes contra a estratégia escolhida pelo jogador defensor.

4.1 Experimentos Realizados

Nas primeiras simulações realizadas usou-se apenas seis tipos de unidades (A, B, C, D, E e F), sem considerar seus atributos. Usando como base o algoritmo de seleção clonal, o jogador artificial seleciona a unidade com maior pontuação para gerar seu clone. Ele também substitui todas as unidades com pontuação abaixo de um nível mínimo por outras geradas aleatoriamente. Se nenhuma unidade possui uma pontuação abaixo do mínimo esperado, ele seleciona a de menor pontuação e a substitui por outra também gerada aleatoriamente. O algoritmo da Figura 22 mostra esse processo, ele é executado em toda fase de manutenção para definir as unidades que irão atacar na fase de ação.

Na simulação para a geração do Gráfico 1 foram definidas pontuações fixas para cada unidade, sem variar durante o jogo, como se o jogador defensor não fizesse nenhuma mudança em sua estratégia. É possível verificar que inicialmente o atacante só possuía unidades B, D e F, sendo que a unidade D possuía maior pontuação. Aproximadamente no turno seis o sistema colocou uma unidade C no jogo e "descobriu" que ela obteve maior pontuação, assim ela continuou a ser clonada até o fim, ficando com cerca de 18 dessas unidades atacando.

Figura 22 – Algoritmo baseado na seleção clonal, ele é chamado em toda fase de manutenção para selecionar as unidades que atacam o jogador na fase de ação.

Entradas: Conjunto de unidade de ataque, pontuação mínima

Começo:

Para cada unidade no *conjunto de ataque*:

 Se a pontuação da unidade for menor que a *pontuação*:

 Retirar essa unidade do *conjunto*

 Adicionar unidade aleatória no lugar

Fim;

 Se nenhuma unidade foi substituída pela *pontuação*:

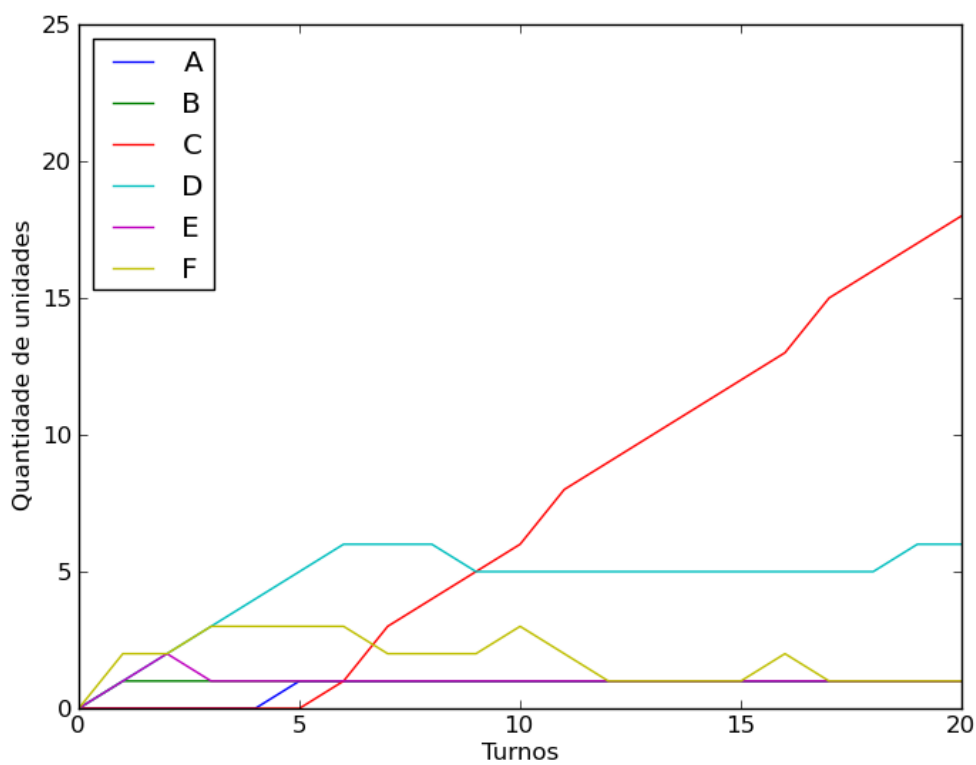
 Retirar unidade de menor *pontuação*

 Adicionar unidade aleatória no lugar

 Copiar unidade com maior *pontuação* e adicionar no *conjunto de ataque*

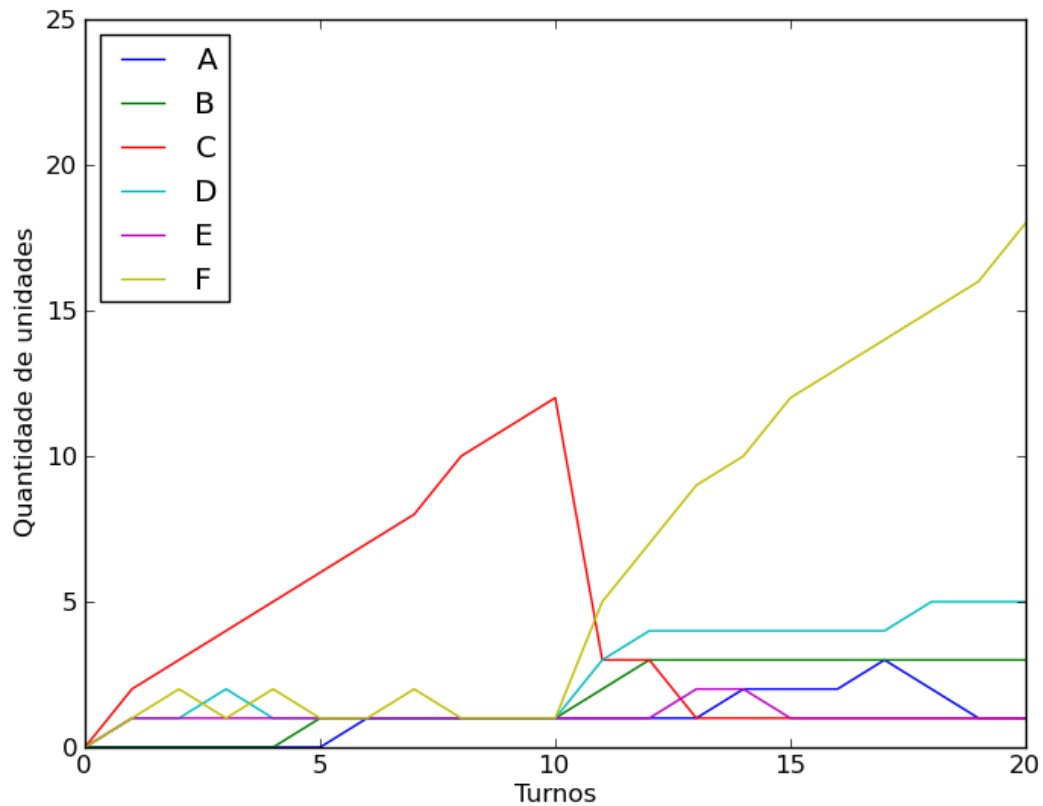
Fim;

Gráfico 1 - Primeira simulação, usando seis tipos de unidades (A, B, C, D, E e F), começando o jogo com 4 unidades aleatórias e adicionando uma unidade a mais por turno. A quantidade máxima de turnos foi definida como sendo 20 e a quantidade mínima aceitável de pontuação foi 10.



O Gráfico 2 mostra a segunda parte das simulações, usando os mesmos parâmetros iniciais da primeira simulação, mas no turno 10 a pontuação das unidades muda, simulando uma mudança repentina na estratégia do jogador defensor. Novamente é possível ver que a unidade C possui a maior pontuação até a metade do jogo, mas após a mudança de pontuação a unidade F teve maior desempenho, dessa forma, sendo clonada até o fim do jogo. O algoritmo dessa simulação é o mesmo da primeira simulação (Figura 22).

Gráfico 2 - Segunda simulação, usando seis tipos de unidades (A, B, C, D, E e F), começando o jogo com 4 unidades aleatórias e adicionando uma unidade a mais por turno. A quantidade máxima de turnos foi definida como sendo 20 e a quantidade mínima aceitável de pontuação foi 30.



Na terceira simulação os tipos foram retirados e as unidades são diferenciadas por seus atributos: *health* representando os pontos de vida, *defense* representando a capacidade de defesa e *speed* representando a velocidade. A soma dos três atributos deve ser igual a 100. Inicialmente foram utilizadas 20 unidades com os atributos gerados aleatoriamente e a cada turno adicionando duas novas unidades.

O algoritmo usado nessa simulação (Figura 23) possui uma pequena variação: a unidade de maior pontuação é clonada duas vezes, sendo que um dos clones sofre uma mutação. A mutação é definida com uma taxa de 5%, ou seja, todos os atributos do clone podem variar de 5% para mais ou para menos.

Figura 23 – Algoritmo usado na terceira simulação, usando um fator de mutação em um dos dois clones gerados.

Começo:

Para cada unidade no *conjunte de ataque*:

Se a pontuação da unidade for menor que a *pontuação*:

Retirar essa unidade do *conjunto*

Adicionar unidade aleatória no lugar

Fim;

Se nenhuma unidade foi substituída pela *pontuação*:

Retirar unidade de menor *pontuação*

Adicionar unidade aleatória no lugar

Copiar unidade com maior *pontuação* e adicionar no conjunto de ataque

Copiar outra unidade e aplicar o fator de mutação

Fim;

Nessa simulação foram definidos três estágios (simulando as mudanças de torres do jogador defensor), sendo que o primeiro acaba no turno 6, o segundo acaba no turno 12 e o terceiro vai até o final do jogo.

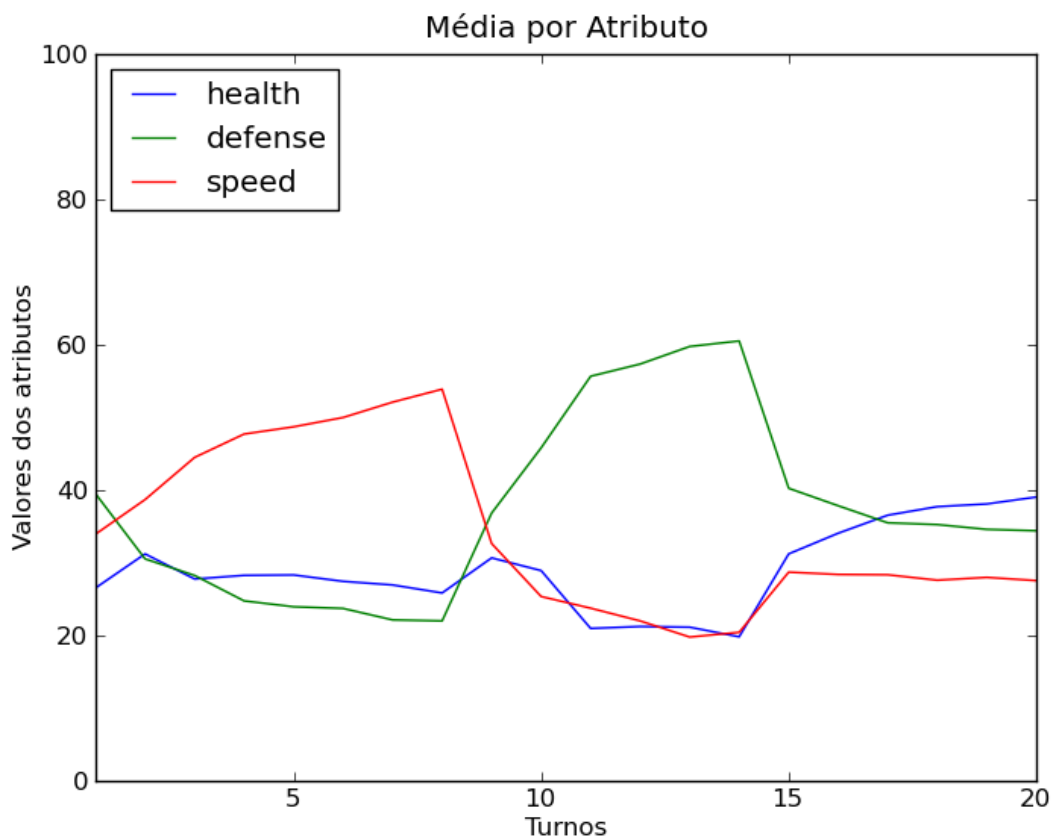
Tabela 1 – Valores ideais em cada estágio do jogo da terceira simulação. Quanto mais perto os atributos das unidades estiverem desses valores, maior vão ser suas pontuações.

	Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
<i>health</i>	30	15	50
<i>defense</i>	10	75	30
<i>speed</i>	60	10	20

A Tabela 1 apresenta os valores ideais para cada atributo nos três estágios do jogo simulado. Quanto mais perto os atributos das unidades estiverem desses valores, melhores serão seus desempenhos, adquirido maior pontuação.

O Gráfico 3 mostra a média dos atributos durante o jogo simulado, é possível observar que o sistema se adapta rapidamente, fazendo o atributo *speed* sobressair logo no segundo turno e caminhando para os valores descritos na Tabela 1. No turno 7 os atributos mudam e o sistema novamente se adapta ao novo cenário, fazendo com que a defesa se sobressaia. No estágio final, ao turno 13 outra mudança ocorre e o sistema se adequa novamente.

Gráfico 3 - Terceira simulação, média de valores dos atributos. A simulação foi iniciada com 20 unidades e pontuação mínima de 30.



4.2 Conclusão

A partir dos dados analisados, pôde-se observar o comportamento adaptativo do sistema imunológico seguindo as mudanças feitas no ambiente. O uso da técnica demonstrada permite que o jogador atacante sempre mude suas ações, ajustando suas unidades de ataque para enfrentar da melhor forma possível a defesa das torres. A técnica usada ainda possui elementos aleatórios que ajudam a fazer com que nenhuma partida tenha a mesma configuração.

Os jogos de *Tower Defense* possuem um ambiente muito simples (comparando com jogos de representação extremamente complexa, tais como jogos de estratégia em tempo real e de tiro em primeira pessoa), por isso as simulações consideraram os elementos mais importantes que o jogador de ataque precisa para tomar suas ações, dessa forma, a técnica de seleção clonal demonstrou ser capaz de ser aplicada em um jogo real nesse estilo.

No desenvolvimento das simulações, também foi possível observar que as técnicas de seleção clonal, seleção negativa e seleção positiva podem ser usadas em diferentes níveis

de abstração, por exemplo, elas podem ser usadas para escolher as unidades individualmente ou escolhendo o conjunto de unidades. Esse projeto utilizou a primeira opção por ser o mais natural (fazendo a analogia das unidades com anticorpos).

A abordagem utilizada nesse trabalho pode ser simples demais para alguns tipos de jogos, a representação complexa dificulta a abstração dos componentes. É possível que seja utilizado outras técnicas em conjunto com essa abordagem, tanto de sistemas imunológicos artificiais, quanto técnicas clássicas ou bio-inspiradas.

REFERÊNCIAS

- AAMODT, A.; PLAZA, E. Case-Based Reasoning. **AICom - Artificial Intelligence Communications**, 1994. Disponível em: <<http://www2.iia.csic.es/People/enric/AICom.html>>. Acesso em: 3 Março 2010.
- ABBAS, A. K.; LICHTMAN, A. H. **Basic Immunology Updated Edition: Functions and Disorders of the Immune System**. 2ª Edição. ed. [S.l.]: Saunders, 2008.
- ABBAS, A. K.; POBER, J. S.; LICHTMAN, A. H. **Cellular and Molecular Immunology**. 4ª Edição. ed. [S.l.]: Saunders, 2000.
- AISWEB: The Online Home of Artificial Immune Systems. **AISWeb**, 2009. Disponível em: <<http://www.artificial-immune-systems.org/>>. Acesso em: 17 Julho 2010.
- AL-SHESHTAWI, K. A.; ABDUL-KADER, H. M.; ISMAIL, N. A. Artificial Immune Clonal Selection Algorithms: A Comparative Study of CLONALG, opt-IA, and BCA with Numerical Optimization Problems. **IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security**, 2010. 24-30.
- BOURG, D. M.; SEEMANN, G. **AI for Game Developers**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: O'Reilly Media, 2004.
- BRAGA, A. D. P.; CARVALHO, A. P. D. L. F.; LUDERMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. 2ª Edição. ed. [S.l.]: LTC, 2007.
- BROWNLEE, J. **Clonal selection theory and Clonalg : the clonal selection classification algorithm (CSCA)**. Swinburne University of Technology. Faculty of Information and Communication Technologies. Centre for Intelligent Systems and Complex Processes. [S.l.]. 2005.
- CASTRO, L. N.; TIMMIS, J. **Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: Springer, 2002.
- CASTRO, L. N.; ZUBEN, F. J. V. **Engenharia Imunológica: Desenvolvimento e Aplicação de Ferramentas Computacionais Inspiradas em Sistemas Imunológicos Artificiais**. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas. 1998.

CASTRO, L. N.; ZUBEN, F. J. V. **Artificial Immune Systems: Part I – Basic Theory And Applications**. UNICAMP - Department of Computer Engineering and Industrial Automation. Campinas, p. 98. 1999.

CASTRO, L. N.; ZUBEN, F. J. V. **An Evolutionary Immune Network for Data Clustering**. 6th Brazilian Symposium on Neural Networks. [S.l.]: IEEE Computer Society. 2000. p. 84-89.

CASTRO, L. N.; ZUBEN, F. J. V. **The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications**. In GECCO 2002 - Workshop Proceedings. [S.l.]: Morgan Kaufmann. 2002. p. 36-37.

CHAMPANDAR, A. J. **AI Game Development: Synthetic Creatures with Learning and Reactive Behaviors**. [S.l.]: New Riders Games, 2003.

CHAMPANDAR, A. J. Top 10 Most Influential AI Games. **AiGameDev.com**, 2007. Disponivel em: <<http://aigamedev.com/open/highlights/top-ai-games/>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2010.

CHARLES, D. E. A. **Biologically Inspired Artificial Intelligence for Computer Games**. [S.l.]: IGI Publishing, 2007.

CLARK, W. R. **In Defense of Self: How the Immune System Really Works in Managing Health and Disease**. [S.l.]: Oxford University Press, 2007.

DASGUPTA, D. Information Processing Mechanisms of the Immune System. In: CORNE, D.; DORIGO, M.; GLOVER, F. **New Ideas in Optimisation**. [S.l.]: McGraw-Hill Inc., 1999.

DASGUPTA, D. Advances in Artificial Immune Systems. **Computational Intelligence Magazine, IEEE**, v. 1, p. 40-49, Novembro 2006. ISSN ISSN.

DASGUPTA, D. What Are Artificial Immune Systems? **Artificial Immune Systems**, 2010. Disponivel em: <<http://ais.cs.memphis.edu/>>. Acesso em: 1 Agosto 2010.

FLOREANO, D.; MATTIUSI, C. **Bio-Inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies**. [S.l.]: The MIT Press, 2008.

FORREST, S. et al. **Self-Nonself Discrimination in a Computer**. Symposium on Research in Security and Privacy, IEEE. [S.l.]: IEEE Computer Society Press. 1994. p. 202-212.

INFORMATION about Tower Defence. **TowerDefense.net**, 2007. Disponível em: <http://www.towerdefence.net/games-45-Tower_Defence_Info.php>. Acesso em: 14 Novembro 2010.

JI, Z.; DASGUPTA, D. V-detector: An efficient negative selection algorithm with "probably adequate" detector coverage. **Information Sciences: an International Journal**, New York, NY, USA, 179, 10 Abril 2009. 1390-1406.

JONES, T. **Artificial Intelligence: A Systems Approach**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: Jones and Bartlett Publishers, 2008.

KONAR, A. **Artificial Intelligence and Soft Computing: Behavioral and Cognitive Modeling of the Human Brain**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: CRC Press, 1999.

LEONARD, T. GDC 2003: Building an AI Sensory System: Examining The Design of Thief: The Dark Project. **Gamesutra**, 2003. Disponível em: <http://www.gamasutra.com/gdc2003/features/20030307/leonard_01.htm>. Acesso em: 17 Março 2010.

LOYOLA COLLEGE. Knowledge-Based Systems In Japan. **JTEC: Japanese Technology Evaluation Center**, 1993. Disponível em: <<http://www.wtec.org/loyola/kb/toc.htm>>. Acesso em: 2010 Março 2.

NATIONAL INSTITUTE OF ALLERGY AND INFECTIOUS DISEASES (U.S.) E NATIONAL CANCER INSTITUTE (U.S.). **Understanding the immune system**. [S.l.]: NIH publication, 2003.

PROCEDURAL ARTS. Façade: a one-act interactive drama. **Façade**, 2008. Disponível em: <<http://www.interactivestory.net/#facade>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2010.

PRODUCTION Systems. **A Survey of Cognitive and Agent Architectures**, 2010. Disponível em: <<http://ai.eecs.umich.edu/cogarch0/common/arch/production.html>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2010.

RABIN, S. **AI Game Programming Wisdom**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: Charles River Media, 2002.

RAYNOR, W. **International Dictionary of Artificial Intelligence**. 2ª Edição. ed. [S.l.]: Global Professional Publishing, 2009.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. 2ª Edição. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2002.

SHIU, S.; PAL, S. K. **Foundations of Soft Case-Based Reasoning**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: Wiley-Interscience, 2004.

STATE-DRIVEN Game Agent Design. **Ai-Junkie**, 2010. Disponível em: <http://www.ai-junkie.com/architecture/state_driven/tut_state1.html>. Acesso em: 9 Fevereiro 2010.

T cell Classification, 2010. Disponível em: <http://sprojects.mmi.mcgill.ca/immunology/spec_imm_cells.htm>. Acesso em: 25 Julho 2010.

TIMMIS, J.; NEAL, M. **Investigating the evolution and stability of a resource limited artificial immune system**. Special Workshop on Artificial Immune Systems, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO). [S.l.]: AAAI press. 2000.

VALVE CORPORATION. Awards and Honors. **Valve**, 2010. Disponível em: <<http://www.valvesoftware.com/awards.html>>. Acesso em: 16 Fevereiro 2010.