



**Felipe Gomes de Carvalho**

**Comportamento em Grupo de Personagens do Tipo  
*Black&White***

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio.

Orientador: Bruno Feijó

Rio de Janeiro, 31 de março de 2004



**Felipe Gomes de Carvalho**

## **Comportamento em Grupo de Personagens do Tipo Black&White**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico e Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Bruno Feijó**  
Orientador  
PUC-Rio

**Angelo Ciarlini**  
Unirio

**Marcelo Dreux**  
PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 31 de março de 2004

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Felipe Gomes de Carvalho**

Formou-se Bacharel em Processamento de Dados na Universidade Federal do Amazonas. Durante a graduação, participou de projetos de iniciação científica - CNPQ. Durante o mestrado, foi bolsista da CAPES, mantendo um bom desempenho acadêmico, desenvolveu trabalhos em Computação Gráfica em Tempo Real e Inteligência Artificial para Jogos Eletrônicos. Atualmente, participa nos grupos de pesquisa e desenvolvimento de aplicações gráficas nos laboratório ICAD|IGames e TecGraf na PUC-Rio.

#### Ficha Catalográfica

Carvalho, Felipe

Comportamento em Grupo de Personagens do Tipo *Black&White* / Felipe Carvalho; orientador: Bruno Feijó. Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Informática, 2004.

125, f.: il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática - Dissertações. 2. Inteligência Artificial para Jogos. 3. Sistemas MultiAgentes. 4. BDI. 5. Agentes Inteligentes em Jogos – Game AI. I. Feijó, Bruno. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

Para meus familiares e amigos pela amizade.

## Agradecimentos

Este deveria ser talvez o maior capítulo da dissertação. Há muitas pessoas que merecem aquele abraço pelo apoio ao longo deste trabalho. Iniciando queria agradecer:

A Deus.... aquele abraço!

A Bruno Feijó, orientador, por apresentar assuntos bem interessantes ao longo desse curso, pelos conselhos, pela paciência e pela confiança... aquele abraço!

Aos meus pais e aos meus irmãos... aquele abraço!

A minha cachorra Laila e aos meus gatos Pequerrucha e Serval... aquele abraço!

Ao pessoal do ICAD: Francisco, Pozzer, Rubens, Cristina, Lucas, Gilliard, Esteban, professor Marcelo Dreux e o restante de toda a galera.... aquele abraço!

Ao pessoal do TecGraf: Guilherme, Luiz, Carol, Fábio, Lívia, Renato, Maria Clara, Valdimar, Claudinei, Herivelton, Sandro, Leonardo, Aurélio, Eduardo, Romano, Ricardo, Gustavo, Thiago, Mauren, Hednalda, Enio, Eduardo, Thadeu, Szemberg, Alberto, Gaspar, Smarzaro, Felipe, Pedro, Pablo, Sandra, Marconi, Hermman e o restante de toda a galera.... aquele abraço!

Ao pessoal do Lab-Pós: Cadu, Renato, Hedlena, Cláudio, Heloisa, Alexandre, ao pessoal que não lembro os nomes... aquele abraço!

Ao pessoal da Gávea... aquele abraço!

Ao Bob Marley, The Doors, Staind, Steel Pulse, JJMesclado, Chico Buarque, Dread Lion, Monte Zion, Ponto de Equilíbrio, Alpha Blondie, Pink Floyd, entre várias outras bandas... pelas músicas que serviram como trilha sonora para este trabalho.

A esta cidade maravilhosa por ser uma fonte eterna de inspiração.

Ao laboratório ICAD|IGames e ao VisionLab, pelo apoio.

Ao CNPQ e à FINEP pelo suporte financeiro à linha de pesquisa da qual o presente trabalho é fruto.

À agência CAPES, que me forneceu uma bolsa de fomento que possibilitou a realização do mestrado, culminando nesta obra.

## Resumo

Carvalho, Felipe. **Comportamento em Grupo de Personagens do Tipo *Black&White***. Rio de Janeiro, 2004. 125p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Recentemente, a indústria de jogos tem demonstrado crescente interesse no desenvolvimento de jogos que utilizam técnicas sofisticadas de Inteligência Artificial (IA). Verifica-se, dessa forma, o surgimento de jogos mais realistas, tanto no aspecto gráfico quanto no comportamento dos personagens. O jogo *Black&White* (*B&W*), desenvolvido pela empresa *Lionhead Studios*, é considerado um exemplo importante da utilização de técnicas de IA em jogos, e obteve um grande sucesso. Parte desse sucesso se deve ao fato de haver revelado uma interessante arquitetura deliberativa para agentes computacionais, baseada no modelo de agentes deliberativos chamado *BDI* (*Belief, Desire and Intention*, ou Crença, Desejo e Intenção). O presente trabalho visa desenvolver um estudo sobre a arquitetura utilizada no jogo *B&W*, e também sobre a interação de personagens que utilizam as técnicas presentes nesta arquitetura. Esta interação envolverá a utilização de um protocolo inspirado na linguagem de comunicação chamada *KQML* (*Knowledge Query and Manipulation Language*, ou Linguagem de Consulta e Manipulação de Conhecimento).

## Palavras-chave

Jogos Eletrônicos; Inteligência Artificial para Jogos; Sistemas MultiAgentes; BDI; Atos de Fala; Agentes Inteligentes em Jogos.

## Abstract

Carvalho, Felipe. **Group Behavior for *Black&White* Characters**. Rio de Janeiro, 2004. 125p. Masters Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Recently the game industry has been demonstrating much interest in the development of games that use more powerful *Artificial Intelligence (AI)* techniques. In this way, many games have been developed with more realistic graphics and character behavior. The game *Black&White (B&W)*, developed by *Lionhead Studios*, is considered an important example of the use of AI techniques in games, and has resulted in a great success, disclosing a very interesting deliberative architecture for computational agents. Such architecture is based on the deliberative model called *BDI (Belief, Desire and Intention)*. The present work aims to develop a study on the architecture used in game *B&W*, and also on the interaction of characters that use the techniques applied in this architecture. This interaction will use a protocol inspired on the communication language *KQML (Knowledge Query and Manipulation Language)*.

## Keywords

Electronic Games; Artificial Intelligence for Games; Game AI; MultiAgent Systems; BDI; Speech Acts ;Intelligent Agents in Games.

# Sumário

<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>12</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>14</b>
<b>Lista de Quadros.....</b>	<b>15</b>
<b>1 Introdução .....</b>	<b>16</b>
1.1. Objetivos .....	19
1.2. Trabalhos Relacionados.....	19
1.3. Descrição da Dissertação .....	23
<b>2 Sistemas MultiAgentes em Jogos .....</b>	<b>24</b>
2.1. Agentes .....	24
2.2. Inteligência Artificial Distribuída .....	26
2.3. Sistemas MultiAgentes e Jogos .....	27
<b>3 Aprendizado de Máquina em Jogos Eletrônicos .....</b>	<b>34</b>
3.1. Avaliação da Necessidade.....	34
3.2. Adaptação.....	35
3.3. Técnicas de Aprendizado.....	36
3.3.1. Redes Neurais .....	37
3.3.2. Árvores de Decisão.....	42
<b>4 Arquitetura BDI – <i>Belief Desire Intention</i>.....</b>	<b>50</b>
4.1. Estados Mentais .....	50
4.1.1. Crenças .....	51
4.1.2. Desejos .....	51
4.1.3. Intenções .....	52
4.2. Arquitetura <i>Belief-Desire-Intention</i> .....	53
4.3. Ferramentas .....	56
4.3.1. <i>Procedural Reasoning System</i> .....	56

4.3.2. dMars.....	57
-------------------	----

## **5 IA do Tipo *Black&White*.....60**

5.1. Arquitetura .....	61
5.1.1. Plausível.....	62
5.1.2. Maleável.....	65
5.1.3. Amável.....	66
5.2. Métodos de Aprendizado .....	66
5.2.1. Árvore de Decisão.....	67
5.2.2. <i>Perceptrons</i> .....	70
5.3. Armadilhas no Aprendizado.....	72
5.4. Limitações.....	74

## **6 Comunicação entre Personagens.....76**

6.1. Comunicação entre agentes .....	76
6.2. Linguagens de Comunicação para Agentes .....	79
6.2.1. KQML .....	81
6.3. Conversação .....	86

## **7 Resultados .....**

7.1. Arquitetura .....	88
7.1.1. Crenças.....	96
7.1.2. Desejos .....	97
7.1.3. Ações e Tarefas.....	98
7.1.4. Intenções .....	99
7.1.5. Opiniões.....	100
7.1.6. Diálogos - Conversação .....	100
7.2. Critérios de Avaliação.....	104
7.3. Interface .....	106

## **8 Conclusão..... 109**

8.1. Conclusões .....	109
8.2. Trabalhos Futuros .....	111

**9 Referências Bibliográficas..... 113**

**Apêndice A - Terrenos..... 122**

*HeightMap*..... 122

## Lista de Figuras

Figura 1. Criatura do jogo <i>Black&amp;White</i> (Lionhead, 2003). .....	18
Figura 2. <i>Duncan</i> , um personagem autônomo representando um cachorro (Burke <i>et al.</i> , 2001). .....	21
Figura 3. A galinha virtual sendo controlada por um dispositivo externo (Johnson <i>et al.</i> , 1999). .....	21
Figura 4. Criaturas do jogo <i>Creatures</i> (Grand <i>et al.</i> , 1996). .....	22
Figura 5. Futebol de Robôs (Asada <i>et al.</i> , 2000). .....	28
Figura 6. Comportamento Emergente - <i>Flocking Animation</i> (Reynolds, 1987)....	29
Figura 7. <i>Flocking</i> sendo utilizado para simular um grupo de peixes no jogo <i>Super Mario 64</i> . .....	30
Figura 8. Grupo de agentes reativos interagindo. ....	31
Figura 9. <i>FarCry</i> (Farcry, 2004). .....	31
Figura 10. Neurônio biológico.....	37
Figura 11. Sinapse. ....	37
Figura 12. Neurônio Artificial. ....	38
Figura 13. Rede Neural com múltiplas camadas. ....	39
Figura 14. A função hipótese $h$ tenta aproximar a função alvo $f$ . ....	43
Figura 15. Esquema representativo do algoritmo ID3. ....	46
Figura 16. O atributo com maior ganho de informação é o nó raiz da árvore de decisão. ....	48
Figura 17. Os ramos do atributo Tempo apontam para outros nós que precisam de atributos. ....	48
Figura 18. O atributo Parentes é escolhido como o primeiro nó filho do atributo Tempo. ....	49
Figura 19. Árvore de Decisão resultante do conjunto de situações da Tabela 1. ..	49
Figura 20. Arquitetura baseada em 4 estados mentais (Juchem e Bastos, 2001, p.12). .....	50
Figura 21. Esquema de uma Arquitetura BDI. ....	53
Figura 22. Componentes de uma Arquitetura BDI (Weiss, 1999). ....	55
Figura 23. Componentes da Arquitetura <i>PRS</i> (Prs-Guide, 2001). .....	57
Figura 24. Componentes da Arquitetura <i>dMars</i> . ....	59

Figura 25. Esquema representativo da arquitetura de IA da criatura do jogo <i>B&amp;W</i> (Evans, 2002).....	62
Figura 26. Árvore Decisão resultante das observações da Tabela 2.....	68
Figura 27. Árvore Decisão resultante das observações da Tabela 3.....	69
Figura 28. <i>Perceptron</i> .....	70
Figura 29. <i>Meaning Triangle</i> .....	77
Figura 30. Processo de Comunicação (Fullbright e Stephens, 1994). .....	77
Figura 31. As camadas de uma mensagem KQML. ....	83
Figura 32. Típico formato de uma mensagem KQML. ....	84
Figura 33. Estrutura de uma conversa utilizando uma MEF (Smith e Cohen, 1995, p.9).....	86
Figura 34. As criaturas na simulação têm a forma de naves. ....	89
Figura 35. Os elementos com as cores vermelhas, azuis e verdes são os objetos que as criaturas analisam. ....	89
Figura 36. Rede de pontos de navegação interligados.....	91
Figura 37. Esquema da arquitetura implementada. ....	93
Figura 38. Pontos de navegação dentro do campo de visão de uma criatura. ....	94
Figura 39. Os depósitos são representados por cilindros.....	95
Figura 40. Representação esquemática do diálogo 1.....	104
Figura 41. Representação esquemática do diálogo 3.....	104
Figura 42. Diálogo com as informações sobre o estado interno das criaturas.....	107
Figura 43. Diálogo com as informações sobre as fontes de influências dos desejos. ....	108
Figura 44. Diálogo contendo informações sobre a árvore de decisão construída por uma criatura. ....	108
Figura 45. Outro diálogo contendo informações sobre a árvore de decisão construída por uma criatura. ....	108
Figura 46. Exemplo de um mapa de altura ( <i>heightmap</i> ) e o terreno correspondente (Nystron, 2003).....	123
Figura 47. Mapa de altura representado por uma imagem (Nystron, 2003).....	123

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Conjunto de situações utilizadas para criar uma Árvore de Decisão.....	47
Tabela 2. Observações relativas ao desejo de comer.....	67
Tabela 3. Observações relativas ao desejo de atacar. ....	68
Tabela 4. Situações retratando a modificação de pesos no <i>perceptron</i> do desejo de comer. ....	72
Tabela 5. Associações entre ações e desejos. ....	74
Tabela 6. Performativas (Finin e Weber, 1993). ....	85
Tabela 7. Dados sobre o número de diálogos em relação à quantidade de criaturas no cenário em um determinado tempo.....	105
Tabela 8. Dados sobre o número de diálogos sem sucesso. ....	105

## Lista de Quadros

Quadro 1. Algoritmo de Propagação para Frente. ....	40
Quadro 2. Algoritmo ID3. ....	46
Quadro 3. Estrutura das mensagens utilizadas na simulação. ....	101
Quadro 4. Exemplo de mensagem. ....	102