

**Gilliard Lopes dos Santos**

**Máquinas de Estados Hierárquicas em Jogos Eletrônicos**

**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, janeiro de 2004

**Gilliard Lopes dos Santos**

**Máquinas de Estados Hierárquicas  
em Jogos Eletrônicos**

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.

**Prof. Bruno Feijó**

Orientador

Departamento de Informática - PUC-Rio

**Prof. Angelo Ciarlini**

UniRio

**Prof. Marcelo Dreux**

Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 23 de janeiro de 2004

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

### **Gilliard Lopes dos Santos**

Formou-se Bacharel em Ciência da Computação na Universidade Federal Fluminense. Durante a graduação, foi pesquisador em Inteligência Artificial no ADDLabs-UFF. Durante o mestrado, foi bolsista da CAPES, mantendo excelente desempenho acadêmico, desenvolvendo trabalhos em Computação Gráfica em Tempo Real e Inteligência Artificial para Jogos Eletrônicos. Atualmente, participa do grupo de pesquisa e desenvolvimento de jogos do laboratório ICAD|IGames na PUC-Rio. Atua também no desenvolvimento da indústria brasileira de jogos através da Paralelo Computação Ltda., empresa da qual é sócio juntamente com o conhecido autor Fabio Policarpo.

#### Ficha Catalográfica

Lopes, Gilliard

Máquinas de estados hierárquicas em jogos eletrônicos / Gilliard Lopes; orientador: Bruno Feijó. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2004.

54 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas

1. Informática – Teses. 2. Inteligência artificial. 3. Sistemas inteligentes de controle. 4. Máquinas de estados hierárquicas. I. Feijó, Bruno. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Para meus queridos avós Almir e Marlene,  
pelo exemplo, pela confiança e pelo estímulo.

## Agradecimentos

A Deus.

À minha querida esposa Cinthia, e a meus pais e familiares, por simplesmente tudo.

Ao Prof. Bruno Feijó, pelo comprometimento e pela confiança.

Aos indispensáveis amigos Fabio Policarpo e Francisco Fonseca, sem os quais não teria sido possível produzir esta obra..

Ao Prof. Alan Watt, pelo apoio novamente inestimável.

Aos autores António Manuel Adrego da Rocha, Daniel Fu e Ryan Houlette, por sua gentileza ao fornecer material de referência essencial a esta obra.

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

À FINEP, ao laboratório ICAD|IGames e ao VisionLab, pelo apoio.

## Resumo

Lopes, Gilliard. **Máquinas de Estados Hierárquicas em Jogos Eletrônicos**. Rio de Janeiro, 2004. 60p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta obra compreende a utilização de Máquinas de Estados Hierárquicas na definição e no controle de comportamento de agentes inteligentes para jogos eletrônicos. Esse tipo de Máquina de Estados permite reduções drásticas no número de transições quando comparada com uma Máquina de Estados não-hierárquica que implemente o mesmo comportamento; além disso, oferece uma maneira mais intuitiva de se definir e entender representações gráficas de Máquinas de Estados compostas por muitos estados, típicas de agentes de jogos que necessitam de comportamento reativo complexo.

## Palavras-chave

Jogos Eletrônicos; Inteligência Artificial; Inteligência Artificial para Jogos; Máquinas de Estados; Máquinas de Estados Hierárquicas; Agentes Inteligentes; Agentes Inteligentes em Jogos.

## Abstract

Lopes, Gilliard. **Hierarchical State Machines in Electronic Games**. Rio de Janeiro, 2004. 60p. Masters Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work comprehends the use of Hierarchical State Machines in the definition and control of behavior pertaining to intelligent agents in electronic games. This type of State Machine permits drastic reductions in the number of transitions when compared to a non-hierarchical State Machine that implements the same behavior; besides, it offers a more intuitive manner for defining and understanding graphical representations of State Machines consisting of many states, a typical scenario in game agents that need to exhibit complex reactive behavior.

## Keywords

Electronic Games; Artificial Intelligence; Artificial Intelligence for Games; Game AI; State Machines; Hierarchical State Machines; Intelligent Agents in Games.

# Sumário

<b>1 Introdução .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Máquinas de Estados em Jogos Eletrônicos.....</b>	<b>11</b>
2.1. Máquinas de Estados.....	11
2.1.1. Máquinas de Estados Finitos .....	13
2.1.2. Máquinas de Estados <i>Fuzzy</i> .....	15
2.2. Módulo de Inteligência Artificial em Jogos Eletrônicos.....	18
2.2.1. Camada da Máquina de Estados .....	19
2.2.2. Máquinas de Estados Finitos em Jogos.....	21
2.2.3. Máquinas de Estados <i>Fuzzy</i> em Jogos.....	22
<b>3 Máquinas de Estados Hierárquicas .....</b>	<b>25</b>
3.1. Limitações das Máquinas de Estados Finitos e <i>Fuzzy</i> .....	25
3.2. Hierarquia: Super-Máquinas e Sub-Máquinas .....	26
3.3. Máquinas de Estados <i>Fuzzy</i> Hierárquicas .....	29
<b>4 Sistema Baseado em Macros para Máquinas de Estados Hierárquicas .....</b>	<b>32</b>
4.1. Máquinas de Estados na Prática em Jogos Eletrônicos .....	32
4.1.1. Máquinas de <i>Mealy</i> e Máquinas de <i>Moore</i> .....	33
4.2. Uma Linguagem de Máquinas de Estados Baseada em Macros..	34
4.3. Máquinas de Estados <i>Fuzzy</i> no Sistema de Macros.....	37
4.4. Máquinas de Estados Hierárquicas no Sistema de Macros .....	40
<b>5 Resultados .....</b>	<b>43</b>
5.1. Integração do Sistema de Macros com o Motor de Jogos Fly3D ..	43
5.2. Experimentos para Medição de Desempenho .....	45
<b>6 Conclusão .....</b>	<b>49</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>51</b>