



**Manoel Teixeira de Abreu Netto**

**Um Framework Baseado em Padrões para a Construção de  
Sistemas Multi-Agentes Auto-Organizáveis**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio.

Orientador: Carlos José Pereira de Lucena

Rio de Janeiro,  
Março de 2010

**Manoel Teixeira de Abreu Netto**

**Um Framework Baseado em Padrões para a Construção de  
Sistemas Multi-Agentes Auto-Organizáveis**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau 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. Carlos José Pereira de Lucena**  
Orientador  
Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof<sup>a</sup>. Viviane Torres da Silva**  
Departamento de Ciência da Computação – UFF

**Prof<sup>a</sup>. Simone Diniz Junqueira Barbosa**  
Departamento de Informática – PUC-Rio

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

Rio de Janeiro, 29 de março de 2010

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

### **Manoel Teixeira de Abreu Netto**

Graduou-se no Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) em 2008 e no Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação pela Faculdade de Alagoas (FAL) em 2006.

#### Ficha Catalográfica

Netto, Manoel Teixeira de Abreu

Um framework baseado em padrões para a construção de sistemas multi-agentes auto-organizáveis / Manoel Teixeira de Abreu Netto; orientador: Carlos José Pereira de Lucena – 2010.

v., 81 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Informática) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Inclui bibliografia

1. Informática – Teses. 2. Sistemas multi-agentes. 3. Auto-organização. 4. Padrões. I. Lucena, Carlos José Pereira de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

## Agradecimentos

Aos meus pais, Cida e Alcy, por tudo o que fizeram por mim até hoje, pela dedicação, amor e carinho. Todos os meus valores são, absolutamente, méritos deles. À minha irmã Manoela, pelo carinho e amor.

À minha namorada Priscilla, por sempre me ajudar e me dar sempre bons conselhos. Por superar a saudade, por conta da distância, que nos fortaleceu ainda mais. E pelo amor e amizade que nós temos um pelo outro.

Ao professor Lucena, por todos os ensinamentos, científicos e pessoais. Por toda a oportunidade concedida durante meu mestrado. Por ele, toda minha consideração e respeito.

A todos os meus amigos de Maceió e os que pude fazer aqui no Rio, durante o mestrado. A todo o pessoal do LES.

Ao Baldoíno pela amizade e por estar sempre disposto a ajudar e a discutir as idéias que surgem, desde a nossa graduação.

À PUC-Rio pela oportunidade.

À CAPES e FAPERJ pelo apoio financeiro.

## Resumo

Netto, Manoel Teixeira de Abreu; Lucena, Carlos José Pereira de. **Um Framework Baseado em Padrões para a Construção de Sistemas Multi-Agentes Auto-Organizáveis**. Rio de Janeiro, 2010. 81p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A abordagem de sistemas auto-organizáveis vem crescendo em relevância e uso no âmbito de sistemas complexos, pois permite o desenvolvimento de sistemas descentralizados que exibem uma dinamicidade e adaptabilidade em consequência de perturbações no ambiente, anteriormente desconhecidas. As principais dificuldades na construção de sistemas auto-organizáveis residem na elaboração de mecanismos de interação e coordenação entre os agentes do ambiente e na falta do reuso de soluções consagradas. Nesse contexto, esta dissertação propõe um framework como solução reutilizável para a construção de sistemas auto-organizáveis descentralizados, baseando-se nos principais padrões arquiteturais encontrados na literatura, proporcionando também um meio de extensibilidade para elaboração de novos mecanismos de interação e coordenação. A partir do framework, instâncias de diversos domínios podem ser criadas, como exemplo, uma solução auto-organizável e descentralizada para os veículos guiados automaticamente, como será apresentada nesta dissertação.

## Palavras-chave

Sistemas Multi-Agentes; Auto-Organização; Padrões; Framework.

## Abstract

Netto, Manoel Teixeira de Abreu; Lucena, Carlos José Pereira de (Advisor). **A Pattern-Based Framework to Build Self-Organizing Multi-Agents Systems.** Rio de Janeiro, 2010. 81p. MSc. Dissertation – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The approach of self-organizing systems has increased in relevance and use within complex domains, for it allows the development of decentralized systems that exhibit a dynamic and adaptable behavior in facing the challenge of handling disturbances in the environment, which were previously unknown. The main difficulties in building self-organizing systems lie in the development of mechanisms of interaction and coordination between the agents of the environment and the lack of reuse of solutions already adopted. In this context, this dissertation proposes a framework as a reusable solution for building decentralized self-organizing systems, based on major architectural patterns found in the literature, and also provide a means of extensibility to develop new mechanisms of interaction and coordination. From the framework, instances of various fields can be created, for example, a self-organizing and decentralized solution to the automated guided vehicles problem, as will be presented in this dissertation.

## Keywords

Multi-Agents Systems; Self-Organization; Patterns; Framework.

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>11</b>
1.1	Definição do Problema	12
<b>1.2</b>	<b>Solução Proposta</b>	<b>13</b>
1.3	Organização da Dissertação	13
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>15</b>
2.1	Sistemas Multi-Agentes	15
2.1.1	Agente e Ambiente	15
2.1.2	Sistemas Multi-Agentes	18
2.2	Auto-Organização	19
2.2.1	Propriedades do comportamento da auto-organização	20
2.2.2	Fenômeno Emergente	21
2.3	Meta-modelo Agents and Artifacts (A&A)	22
2.4	Padrões básicos de auto-organização	23
2.4.1	Replication	25
2.4.2	Evaporation	27
2.4.3	Aggregation	29
2.4.4	Diffusion	31
2.5	Jadex	33
<b>3</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>37</b>
3.1	Padrões de projetos de sistemas naturais para sistemas distribuídos	37
3.2	Padrões de projeto para coordenação descentralizada em sistemas auto-organizáveis	38
3.3	Abordagem sistemática para engenharia de sistemas auto-organizáveis – SodekoVS	41
<b>4</b>	<b>Framework JASOF</b>	<b>43</b>
4.1	Visão Geral	43
4.2	Arquitetura	44
4.2.1	Ambiente	46
4.2.2	Padrões	49
4.3	Pontos Flexíveis do Framework	55
4.4	Diagrama de Casos de Uso	56
4.4.1	Realizar o padrão Diffusion	57
4.4.2	Realizar o padrão Replication	58
4.4.3	Realizar o padrão Evaporation	59
4.4.4	Realizar o padrão Aggregation	60
4.5	Diagramas de Seqüência	60
4.5.1	Realizar o padrão Diffusion	61
4.5.2	Realizar o padrão Replication	61

4.5.3	Realizar o padrão Evaporation	62
4.5.4	Realizar o padrão Aggregation	63
<b>5</b>	<b>Estudo de Caso: Veículos Guiados Automaticamente</b>	<b>64</b>
5.1	Utilizando o JASOF para construção da solução	65
5.1.1	Agente Destinaton	68
5.1.2	Agente Warehouse	69
5.1.3	Agente Location	70
5.1.4	Agente Transporter	72
<b>6</b>	<b>Conclusão e Trabalhos Futuros</b>	<b>74</b>
<b>7</b>	<b>Referências</b>	<b>76</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 - Caminhos de Feromônio das Formigas	21
Figura 2 - Representação Abstrata de uma Topologia de um SMA	25
Figura 3 - Padrão Replication: (a) estado inicial; (b) estado final desejado	27
Figura 4 - Padrão Evaporation: (a) estado inicial; (b) estado final desejado	28
Figura 5 - Padrão Aggregation: (a) estado inicial; (b) estado final desejado	29
Figura 6 - Padrão Diffusion: (a) estado inicial; (b) estado final desejado	31
Figura 7 - Arquitetura Abstrata do Jadex	34
Figura 8 - Exemplo de um Arquivo de Definição de um Agente (ADF)	36
Figura 9 - Um Campo de Gradiente com Propagação Direcionada e Movimentação dos Agentes	39
Figura 10 - Arquitetura de Referência do SodekoVS	41
Figura 11 - Atividades de Desenvolvimento no SodekoVS	42
Figura 12 - Arquitetura do JASOF	45
Figura 13 - Evento do Padrão Diffusion	47
Figura 14 - Inserção/Leitura no Ambiente	47
Figura 15 - Diagramas de Classes Ambiente	48
Figura 16 - Diagrama de Classes dos Padrões	50
Figura 17 - Trecho do DiffusionPattern.capability.xml	51
Figura 18 - Template Method da classe DiffusionPatternPlan	52
Figura 19 - Trecho do EvaporationPattern.capability.xml	53
Figura 20 - Diagrama de Caso de Uso do JASOF	57
Figura 21 - Diagrama de Sequência do Padrão Diffusion	61
Figura 22 - Diagrama de Sequência do Padrão Replication	62
Figura 23 - Diagrama de Sequência do Padrão Evaporation	63
Figura 24 - Diagrama de Sequência do Padrão Aggregation	63
Figura 25 - Ambiente do AGV	66
Figura 26 - Conjunto de vizinhos de um agente X	67

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Esquema de Descrição dos Padrões	24
Tabela 2 - Resumo das Propriedades do Padrão Replication	25
Tabela 3 - Resumo das Propriedades do Padrão Evaporation	28
Tabela 4 - Resumo das Propriedades do Padrão Aggregation	29
Tabela 5 - Resumo das Propriedades do Padrão Diffusion	31