

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Diêgo Bispo Conceição**

**Simulação e Estratégias de Negociação de Ações com  
Agentes de Software**

**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: Carlos José Pereira de Lucena**

**Rio de Janeiro  
Setembro de 2011**



**Diêgo Bispo Conceição**

**Simulação e Estratégias de Negociação de Ações com  
Agentes de Software**

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. Ruy Luiz Milidiú**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. Ricardo Choren Noya**

Seção de Engenharia de Computação – IME

**Prof. Luiz Fernando Bessa Seibel**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 02 de setembro de 2011.

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

### **Diêgo Bispo Conceição**

Graduou-se Bacharel em Informática pela PUC-Rio em 2008. Integrou a equipe de pesquisadores do LES (Laboratório de Engenharia de Software), atuando em pesquisas na área de Sistemas de Multi-Agentes e Simulação Computacional do Comportamento de Células-Tronco. Atua em desenvolvendo de software desde de 2004, em áreas como o setor de Tecnologia Geofísica da PETROBRAS. Atualmente atua como Analista de Sistema na Secretaria de Planejamento do Estado do Rio de Janeiro e é Sócio Fundador da empresa Ápis Intelligent Solutions. Tem interesse na pesquisa de novas técnicas e algoritmos voltados para Engenharia de Software, Mercado de Capitais e Inteligência Artificial.

#### Ficha Catalográfica

Conceição, Diêgo Bispo

Simulação e estratégias de negociação de ações com agentes de software / Diêgo Bispo Conceição; orientador: Carlos José Pereira de Lucena. – 2011.

82 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, 2011.

Inclui bibliografia

1. Informática – Teses. 2. Sistemas multi-agentes. 3. Simulação. 4. Bolsa de valores. 5. Investimentos. I. Lucena, Carlos José Pereira de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD:004

## Agradecimentos

A Deus que está sempre presente para me dar forças.

A minha família, que sempre me apoiou confiando em mim e em minha capacidade.

Ao professor Lucena por me guiar durante essa jornada incrível.

Ao Andrew por toda ajuda, grande paciência, conselhos, incentivos e apoios os quais foram e são de muita importância para mim.

Aos queridos amigos, minha segunda família, sempre dispostos a ajudar doando seu tempo com palavras de apoio, com companheirismo nos momentos de alegria e tristeza e por todo afeto recebido, sou grato pela oportunidade de tê-los em minha vida e poder contar com a amizade deles.

Aos meus companheiros do LES os quais eu sempre pude contar.

Aos meus parceiros e amigos da *Ápis Intelligent Solution*, Bruno Saldanha e Thuner Silva, sem os quais essa caminhada teria sido muito mais difícil.

A Rafaela e sua família que me apoiaram de todas as formas durante os anos de mestrado.

Ao Paulo Gomide e sua empresa *S<sup>2</sup>I - Soluções de Software Inteligentes*. por ter cedido os dados históricos da bolsa de valores que foram utilizadas neste trabalho.

A Florence por todo o apoio dado nesta reta final do mestrado.

Aos professores através dos quais pude obter todo conhecimento necessário para a minha formação como profissional e até mesmo como pessoa e cidadão.

Aos funcionários da PUC-Rio e o Departamento de Informática por fazerem parte dessa incrível instituição que auxiliou muito no meu crescimento profissional e pessoal.

A PUC-Rio e CAPES pela ajuda financeira durante o mestrado.

A todos os meus antepassados e todas as pessoas que de alguma forma lutaram e continuam lutando para que eu tenha o direito de liberdade e igualdade.

A todos que de alguma forma querem o meu fracasso, muito obrigado por tornar seu desejo uma das minhas maiores forças para que eu busque meu sucesso.

## Resumo

Conceição, Diêgo Bispo. Lucena, Carlos José Pereira de; **Simulação e Estratégias de Negociação de Ações com Agentes de Software**. Rio de Janeiro, 2011. 82p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O mercado financeiro tem apresentado grande crescimento na automatização de decisões e execução de estratégias que consigam atingir boas rentabilidades a partir de investimentos realizados. Conseqüentemente, a necessidade de ambientes cada vez mais robustos e confiáveis, que permitam analisar diferentes estratégias de investimentos, tem aumentado. Baseado nessa necessidade, essa dissertação apresenta o “A Multi-Agent System Framework For Automated Stock Exchange Simulation” (FrAMEX), framework que permite a criação de diferentes simuladores para o mercado financeiro baseado no paradigma de agentes de software. No documento são apresentados simuladores intradiário e diário criados a partir do FrAMEX, além da análise de diferentes estratégias de investimentos utilizadas em tais ambientes e executadas a partir de agentes investidores. Como diversos desses agentes alcançaram bons desempenhos em suas execuções, eles participaram de duas versões da competição MASSES, sendo dois deles os agentes campeões. Assim, a descrição de como foi o desempenho de cada agente desenvolvido também é apresentado.

## Palavras-chave

Sistemas Multi-Agentes; Simulação; Bolsa de Valores; Investimentos

## Abstract

Conceição, Diêgo Bispo; Lucena, Carlos José Pereira de; (Advisor) **Simulation and Stock Trading Strategies with Software Agents**. Rio de Janeiro, 2011. 82p. MSc Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The financial market has presented significant growth in the automation of decisions and execution of strategies that can achieve good returns from investments. Consequently, the need for an increasingly robust and reliable environment, allowing to analyze different investment strategies, has increased. Based on this need, this work presents "A Multi-Agent System Framework For Automated Stock Exchange Simulation" (FrAMEX), which allows the creation of different simulators for the financial market based on the paradigm of software agents. Intraday and interday simulators created from FrAMEX are presented in the document. Besides the analysis of different investment strategies used in such environments and executed by agents run from investors. Since these agents achieved good performances in their executions, they participated in two versions of the MASSES competition. Thus, the description of the performance of each agent developed is also presented.

## Palavras-chave

Multi-Agent System; Simulation; Stock Exchange; Investments

# Sumário

1	Introdução	12
1.1.	Motivação	13
1.2.	Proposta	13
1.3.	Principais Contribuições	14
1.4.	Organização do Documento	14
2	Conceitos importantes	16
2.1.	Sistemas Multi-Agentes	16
2.2.	Mercado de Valores	17
2.3.	Técnicas de Predição para o Mercado Financeiro	19
2.4.	Técnicas de Aprendizagem de Máquinas	20
2.5.	Weka	21
2.6.	Tipos de Simulação para o Mercado Financeiro	21
2.7.	Competição Multi-Agent System for Stock Exchange Simulation (MASSES)	22
3	Trabalhos Relacionados	24
3.1.	Trabalhos Relacionados ao FraMex	24
3.2.	Trabalhos Relacionados aos Agentes Investidores	25
4	FrAMEx	28
4.1.	Visão Geral	28
4.2.	Mecanismos de Temporização	33
4.3.	Ciclo de Vida dos Agentes	35
4.4.	Pontos Flexíveis e Fixos	39
5	Estudo de Caso	42
5.1.	Simulador Intraday	42
5.2.	Simulador Day	47
6	Agentes investidores	52
6.1.	Agentes investidores Simples	53



6.1.1. Poseidon	53
6.1.2. Soros e Money	55
6.1.3. Buffet	57
6.1.4. Tendências	58
6.1.5. Madoff	58
6.1.6. Profit	59
6.2. Agentes investidores Complexos	60
6.2.1. Ápis-IS Comitê	60
6.2.2. Ápis-IS Intra	63
7 Desempenho de Agentes nos Simuladores Criados a partir do FrAMEx	66
7.1. Desempenho no Intraday	66
7.2. Desempenho no Day	67
8 Desempenho dos agentes na Competição MASSES	69
8.1. Competição 2008	69
8.2. Competição 2010	72
9 Conclusão e Trabalhos Futuros	78
10 Referencias	80

## Lista de figuras

Figura 1 - Visão Geral da Simulação	30
Figura 2 - Diagrama de classes do framework FrAMEx	33
Figura 3 - Modelo de evolução por tempo fixo	34
Figura 4 - Modelo de evolução por evento	34
Figura 5 - Modelo de evolução híbrido	35
Figura 6 - ciclo de vida agente investidor	36
Figura 7 - ciclo de vida agente corretor	38
Figura 8 – Diagrama de classes do simulador Intraday	43
Figura 9 - Janela de Configuração do Banco de dados	44
Figura 10 - Janela de Configuração da Simulação	45
Figura 11 - Janela de Estatística Intradiária	46
Figura 12 - Janela de Estatística Interdiária	47
Figura 13 - Diagrama de classes do simulador Day	49
Figura 14 - Código exemplo de instanciação do Simulador	50
Figura 15 - Simulador Day	51
Figura 16 - Relação entre os módulos do agente	53
Figura 17 - Oscilador de preços	55
Figura 18 - médias móveis exponenciais	55
Figura 19 - média móveis simples	57
Figura 20 - convergência/divergência de médias móveis	60
Figura 21 - Arquitetura do comitê	62
Figura 22 – Rendimento Acumulado da simulação Intraday.	67
Figura 23 - Rendimento por período da simulação Intraday	67
Figura 24 - Simulação Day	68
Figura 25 – Desempeno dos agentes na competição	71
Figura 26– Desempeno dos agentes na competição	72

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Análise comparativa entre os sistemas – parte 1.	25
Tabela 2 - Análise comparativa entre os sistemas – parte 2.	25
Tabela 3 - Taxa de acerto	26
Tabela 4 - Classificação dos agentes	68
Tabela 5 - Participantes da competição	69
Tabela 6 - Resultados da competição	71
Tabela 7 - Agentes participantes	73
Tabela 8 - Sistema de pontuação	73
Tabela 9 - Classificação dos agentes na primeira etapa	74
Tabela 10 - Classificação dos agentes na segunda etapa	75
Tabela 11 - Classificação dos agentes na terceira etapa	76
Tabela 12 - Classificação Final dos agentes	77