

Resumo

Diferente de computadores, o ser humano é uma máquina não determinística, com comportamentos instáveis e de difícil previsão. Esse é o perfil dos investidores que formam a força propulsora do mercado de renda variável, onde a grande diversidade de investidores e seus relacionamentos entre si e com o ambiente são os responsáveis por variações nos preços dos ativos negociados. O estudo de um sistema de tal complexidade não pode ser restrito às partes individuais, mas a observação dessas, suas interações e as características que emergem do sistema como um todo. Esse estudo tem por objetivo a observação das propriedades que não podem ser estudadas a partir do método analítico cartesiano. Essas propriedades inerentes ao sistema como um todo são classificadas como holísticas.

Para entender a dinâmica do sistema é necessário entender os métodos e teoremas usados como referência para as decisões tomadas pelos atores (os investidores), com isso ocorre formação de hierarquias, agrupamentos e influências. Para observação dessas características, esse estudo mostra uma arquitetura para simulação de sistemas complexos adaptativos, especificamente na Bolsa de Valores de São Paulo (Bovespa).

Foi usado sistema multi-agente cognitivo como modelo para construção da arquitetura proposta. Os agentes estão imersos na realidade virtual alimentada por dados do sistema financeiro brasileiro, que serão usados como suporte às decisões. Todo agente está passível a ascensões e descensões dentro da sociedade, com suas decisões baseadas na intercessão de sua própria experiência com a influência do ambiente. O agente pode passar de influenciado para influenciador de subgrupos, dando origem a hierarquias e especializações que permanece em constante re-organização se adaptando às propriedades atuais do ambiente.

Abstract

Differently of Computers, the human is a non-deterministic machine with unpredictable and unstable behaviors. This is the stock market traders profile, in which the high diversity and the relationship with the environment and with themselves provoke the most alterations on the assets price. The research of a system with these properties can not be restricted to his individuals, but the most interesting patterns emerges from system interactions. This research has the main objective to study the stock market properties and that can not be easily viewed by a Cartesian analytical method. So these properties are known as holistic properties.

To understand the dynamics of the system is necessary to look the methods and theories used as evidences by the traders. By the use of these theories, the system bears to hierarchies, groups and influences. This study presents an architecture to simulate a complex adaptive system, routed to the Sao Paulo Stock Market (Bovespa).

Using Cognitive Multi-Agent System as an example for the built architecture. The agents are merged into a virtual reality feed by Brazil financial system data, this data will be used as evidence to the agent decisions. All agents are passive to be influenced and to make influence on other agents inside the simulation, growing up environment based adaptive and self-organized hierarchies and specializations of virtual investors.

Sumário

| | |
|----------------------------------------------|-------------|
| Índice de Figuras | viii |
| Índice de Tabelas | ix |
| Lista de Acrônimos | x |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1 Objetivos..... | 2 |
| 1.2 Estrutura do Trabalho..... | 3 |
| 2. Fundamentação Teórica | 4 |
| 2.1 Sistemas Holísticos | 4 |
| 2.2 Computação Evolucionária | 5 |
| 2.3 Sistemas Complexos..... | 8 |
| 2.4 Sistemas Multi-Agente Inteligentes..... | 10 |
| 3. Requisitos para a ferramenta | 14 |
| 3.1 Arquitetura do sistema..... | 15 |
| 4. Experimento Prático | 26 |
| 5. Conclusão e Trabalhos Futuros..... | 35 |
| Bibliografia | 36 |

Índice de Figuras

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 Ciclo evolutivo de um sistema baseado em algoritmo genético | 7 |
| Figura 3.1 Fluxo de execução do núcleo do sistema..... | 17 |
| Figura 3.2. Estrutura de dados de uma árvore com n nós..... | 18 |
| Figura 3.3 Diagrama de fluxo de ações do agente ao ser registrado no sistema. | 20 |
| Figura 3.4 Arquitetura esperada de um <i>plugin</i> de comportamento..... | 21 |
| Tabela 1. Setores econômicos listados na Bovespa..... | 22 |
| Figura 3.5 Filtro módulo aplicado a série temporal da Vale5..... | 24 |
| Figura 3.6 Filtro exponencial aplicado a série temporal da Vale5 | 24 |
| Tabela 2. Configuração das máquinas usadas para o experimento. | 26 |
| Figura 4.1 Grafo formado no estado inicial do sistema com 132 agentes. | 27 |
| Figura 4.2 Distribuição inicial dos setores de acordo com a carteira dos ativos..... | 28 |
| Tabela 3. Métricas do sistema no período de 10/10 até 07/11. | 29 |
| Figura 4.3 Gráfico <i>Candle Stick</i> do Ibovespa no período de Junho a Novembro de 2008 | 30 |
| Figura 4.4 Distribuição dos setores de acordo com a carteira dos ativos no período de 10 de Outubro até 08 de Novembro. | 31 |
| Figura 4.5 Grafo do sistema após 21 dias de investimento. | 31 |
| Figura 4.6 Distribuição da carteira após aplicação e filtro no preço do petróleo..... | 32 |
| Figura 4.7 Influência do petróleo no sistema. (a) Influência inicial no sistema. (b) propagação da influência no sistema. (c) Dissipação da influência no sistema. . | 33 |
| Figura 4.8 Influência de um filtro exponencial no valor da quota do petróleo | 33 |
| Tabela 4. Métricas do sistema no período de 10/11 até 18/11. | 34 |

Índice de Tabelas

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Setores econômicos listados na Bovespa..... | 22 |
| Tabela 2. Configuração das máquinas usadas para o experimento. | 26 |
| Tabela 3. Métricas do sistema no período de 10/10 até 07/11. | 29 |
| Tabela 4. Métricas do sistema no período de 10/11 até 18/11. | 34 |

Lista de Acrônimos

| | |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Bovespa – Bolsa de Valores de São Paulo | 2 |
| <i>PSO - Particle Swarm Optimization</i> | 5 |
| <i>DEA – Distributed Evolutionary Algorithms</i> | 6 |
| <i>CAS - Complex Adaptive System</i> | 9 |
| <i>FIPA - Foundation of Intelligent Physical Agents</i> | 10 |
| <i>YAML - Ain't a Markup Language</i> | 16 |
| <i>STOMP - Streaming Text Oriented Protocol</i> | 16 |
| <i>IP – Internet Protocol</i> | 26 |
| <i>TCP – Transmission Control Protocol</i> | 26 |

1. Introdução

O mercado de renda variável sempre foi um ambiente de alta entropia. Essa aparente desordem se dá por tal ambiente ser regido por seres humanos que diferente dos sistemas determinísticos e exatos, regidos por computadores, o homem influencia e é influenciado por emoções, que são por natureza, voláteis. O conjunto de investidores, que é a força motriz das bolsas de valores, está em constante mutação formando grupos e hierarquias sociais.

Uma abordagem social da bolsa de valores já foi apresentada por diversos pesquisadores [1] e [2]. Como exemplo, podemos citar os estudos de Charles Dow publicados em uma série de editoriais no *Wall Street Journal*, hoje chamada de Teoria de Dow, que deu origem a boa parte da análise técnica aplicada por inúmeros investidores atualmente. Um dos princípios dessa teoria divide os movimentos no mercado em três momentos:

1. no início, a variação no mercado começa a ser propulsionada por investidores mais qualificados. A opinião dessa pequena categoria de investidores é contrária ao movimento atual, o que faz com que na maior parte das vezes ela consiga um preço muito menor ou maior (dependendo se o movimento é de compra ou venda) do que o preço real do ativo;
2. o segundo movimento corresponde a uma aceleração mais acentuada do movimento. Alguns investidores mais atentos percebem a inversão de tendência. A pressão de compra ou venda aumenta bastante;
3. a terceira fase é marcada por grandes altas ou baixas. Os participantes do mercado, de maneira geral, estão cada vez mais seguros de seus lucros. A grande massa de investidores entra em um momento de euforia. É nesse momento que começa a se formar mais uma reversão de tendência e o ciclo volta para a primeira fase.

Podemos observar que cada fase dessa teoria é representada por um perfil diferente de investidor, formando uma rede de influências que define a dinâmica do mercado. Esse estudo não poderia ser realizado através da observação de um

investidor isoladamente, mas sim do sistema como um todo e das propriedades que surgem em decorrência da interação dos seus participantes entre si e com o ambiente, essas propriedades são categorizadas como holísticas.

Técnicas de Inteligência Artificial e sistemas distribuídos podem ser aplicadas para simulação e estudo das propriedades holísticas do sistema formado por hierarquias de investidores. Essa simulação pode nos prover uma realidade virtual de menor complexidade na qual podemos alterar parâmetros de entrada isoladamente (preço de *commodities*, taxas de cambio, índices econômicos) para observar a reação sistemática de seus participantes em um ambiente controlado.

1.1 Objetivos

Esse trabalho tem por objetivo a construção de uma ferramenta para simulação de sistemas complexos adaptativos especificamente a bolsa de valores de São Paulo (Bovespa). A implementação será baseada em Sistemas Multi-Agente Cognitivos usando uma arquitetura distribuída.

Com a arquitetura desenvolvida será possível estimar a influência de *commodities* no mercado e ajudar empresas a ter uma estimativa da reação do mercado a publicação de determinadas notícias, evitando assim uma sub-precificação ou super-precificação do seu produto.

A arquitetura desenvolvida nesse projeto poderá ser aproveitada como modelo para simulação de outros sistemas complexos adaptativos como: tráfego urbano, sociedades online ou a World Wide Web.

Através da ferramenta construída podemos sistematizar a obtenção de métricas de influências e com isso comparar diferentes bolsas de valores. Detectar padrões dentro da simulação que nos ajude a compreender melhor a dinâmica do sistema no mundo real.

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em capítulos. A seguir será detalhada sua estrutura.

O capítulo 2 descreve a fundamentação teórica necessária para o entendimento deste trabalho. Serão discutidos a teoria de sistemas holísticos, sistemas complexos e suas variações e sistemas Multi-Agente inteligentes. Será discutido como cada uma dessas teorias foi usada para compor a arquitetura construída para essa pesquisa.

Os capítulos 3 e 4 apresentam a arquitetura da ferramenta desenvolvida nesse trabalho e os experimentos realizados com a ferramenta produzida. Serão apresentados os resultados e suas respectivas análises, mostrando as condições e recursos em que cada etapa dos experimentos foi realizada.

No capítulo 5 serão apresentadas as conclusões mostrando a vantagens e desvantagens do uso da ferramenta criada nesse projeto para a bolsa de valores. Nesse capítulo também será mostrado as pretensões e estudos futuros que serão realizados usando a arquitetura desenvolvida.

2. Fundamentação Teórica

Neste capítulo é descrito os conceitos básicos das principais teorias usadas para a construção deste trabalho.

2.1 Sistemas Holísticos

Holismo (do grego *Holos*, todo) é a idéia de que as propriedades de um sistema (composto por humanos ou organismos) não podem ser explicadas apenas pela soma de seus componentes. Esse termo foi criado pelo primeiro-ministro da África do Sul Jan Smuts em 1926 no seu livro *Holism and Evolution* [3]. Em sua obra Smuts define holismo como o seguinte: “*The tendency in nature to form wholes that are greater than the sum of the parts through creative evolution*”.

O holismo também é conhecido por não-reducionismo, por ser oposto ao reducionismo proposto por René Descartes. A teoria Cartesiana afirma que não importa a complexidade dos objetos, fenômenos, teorias e significados, esses podem ser sempre reduzidos à suas partes constituintes mais simples, em que a explicação dessas nos levará a explicação do todo.

Na sociologia, o conceito de holismo, foi apresentado por Émile Durkheim (considerado o pai da sociologia moderna), através dos seus trabalhos na reflexão e reconhecimento de uma “consciência coletiva”. Durkheim parte do princípio que os homens não passariam de animais selvagens se não fosse a capacidade de se tornarem sociáveis, aprendendo hábitos e costumes característicos de grupos sociais para poder sobreviver no meio deste.

As propriedades holísticas foram empregadas na elaboração de novas teorias iniciadas e adotadas no século XX como o pensamento sistêmico [4] e a psicologia analítica de Jung [5]. O pensamento sistêmico é fundamentado em três pressupostos:

- **o pressuposto da complexidade** reconhece que a simplificação obscurece as inter-relações entre os fenômenos do universo e de que é

imprescindível ver e lidar com a complexidade do mundo em todos os seus níveis;

- **o pressuposto da instabilidade** reconhece que o mundo está em processo de tornar-se, advindo daí a consideração da indeterminação, com a conseqüente imprevisibilidade, irreversibilidade e incontrolabilidade dos fenômenos;
- **o pressuposto da intersubjetividade** reconhece que não existe uma realidade independente de um observador e que o conhecimento científico é uma construção social, em espaços consensuais, por diferentes sujeitos/observadores.

O holismo pode ser observado em diversos sistemas sociais compostos por animais, como: cardumes de peixes, colônias de formigas ou enxames de insetos. A observação desses sistemas nos exhibe propriedades que não encontramos se estudarmos os seus participantes de modo isolado. Aplicações mais recentes das propriedades desses sistemas foram usadas para problemas de busca em múltiplas dimensões, criando uma nova área de pesquisa, a Otimização por Enxame e Partículas [6] (*PSO - Particle Swarm Optimization*).

Em economia uma aplicação notável da teoria de sistemas holísticos foi o de Joseph Schumpeter em 1991 descrita em seu livro *Economics and Sociology of Capitalism* [6] que apresenta os aspectos econômicos e sociais do sistema capitalista. Em sua obra, Schumpeter descreve as classes sociais do sistema e suas relações entre si e com o ambiente.

No trabalho estudado iremos observar as características holísticas das bolsas de valores através de simulações.

2.2 Computação Evolucionária

Computação evolucionária é um sub-ramo da inteligência artificial que envolve os problemas de otimização por combinação. Essas técnicas são inspiradas por mecanismos biológicos encontrados na natureza como: evolução, mutação, seleção natural e recombinação. Os algoritmos evolucionários são usados em

conjunto com computação paralela e sistemas distribuídos para representar e guiar a população do sistema.

A maioria das técnicas evolucionárias envolvem algoritmos de otimização metaheurísticos, que são aplicados a problemas que não possuem um algoritmo de eficiência satisfatória ou quando tal problema não é de fácil simulação. Através das características encontradas na natureza, simuladas através de sistemas multi-agente distribuídos (*DEA - Distributed Evolutionary Algorithms*), é possível obter uma convergência para a função objetivo de sistemas dinâmicos não lineares, obtendo resultados satisfatórios. O objetivo principal de um sistema que usa essa categoria de algoritmos é aproveitar a computação paralela inerente a teoria, usando múltiplos agentes, para explorar um domínio em busca de um subconjunto que satisfaça a função objetivo. Exemplos de técnicas que usam computação evolucionária são:

- algoritmos genéticos;
- inteligência por enxame de partículas;
- vida artificial;
- algoritmos culturais;
- programação evolucionária;
- sistemas imunológicos artificiais.

A Computação evolucionária tem uma grande desvantagem que é o tempo usado para realização de simulações. Varias soluções para diminuir tal problema já foram propostas [8], porém ainda é alto o custo computacional para obtermos uma solução dependendo do problema estudado. Uma das soluções para o problema de desempenho foi o uso de computação distribuída em conjunto com tais algoritmos para melhorar a abrangência da exploração realizada no domínio do problema estudado e reduzir a carga computacional.

Uma das principais técnicas de computação evolucionária é o algoritmo genético que são inspirados nos conceitos da teoria de seleção natural das espécies proposta por Charles Darwin. Estes algoritmos são baseados nos processos genéticos dos organismos biológicos para procurar soluções ótimas ou sub-ótimas para um dado problema. Esse algoritmo codifica as possíveis soluções de um

sistema numa estrutura chamada de “cromossomo”, composta por uma cadeia de símbolos. Tais cromossomos representam indivíduos que evoluem ao decorrer do tempo ao longo de gerações em busca de uma convergência para que apenas os mais aptos e adaptados ao ambiente sobrevivam. Estes mecanismos são similares aos descritos por Chales Darwin em seu livro “A origem das espécies” [9]. Emulando os processos descritos por Darwin, os algoritmos genéticos são capazes de “evoluir” para soluções de problemas reais.

Os indivíduos pertencentes a um sistema regido por um algoritmo genético são constantemente submetidos ao ciclo que envolve: avaliação, seleção, recombinação (*crossover*) e mutação. Para cada geração de indivíduos é aplicada as regras cabíveis para avaliação das suas condições reprodutivas baseadas em quão boa é a sua solução proposta. O sistema seguirá continuamente o ciclo mostrado na Figura 1 até conseguir uma solução para o problema. Com essa expansão do sistema baseada nos indivíduos que conseguem um melhor desempenho, conseguimos fazer com que o algoritmo em um número finito de iterações convirja para uma solução satisfatória.



Figura 1.1 Ciclo evolutivo de um sistema baseado em algoritmo genético

2.3 Sistemas Complexos

Um sistema complexo é composto por partes interconectadas que, como um todo, exibe uma ou mais propriedades diferentes das propriedades das partes individuais, com uma grande diversidade de agentes e de difícil simulação e previsão. Exemplos de sistemas complexos incluem colônias de formigas, infraestrutura de telecomunicações, economia, clima, sistema nervoso, células e organismos vivos como os humanos e animais.

Os sistemas complexos são divididos em três categorias:

- **sistemas** caóticos são compostos por participantes do sistema que são ligados de forma que a alteração no estado de um elemento em separado pode ocasionar um distúrbio aleatório em todo o sistema. Um exemplo de sistemas caóticos está no “*problema dos n corpos*” proposto por Henri Poincaré, fundador da teoria do caos moderna [10];
- **sistemas não-lineares** são sistemas não determinísticos em que o comportamento dos seus integrantes são pseudo-aleatórios e de difícil previsão. O estado futuro é dependente do estado inicial. Os fractais fazem parte dessa categoria de sistemas;
- **sistemas complexos adaptativos**, são compostos por múltiplos participantes, assim como as outras categorias, porém nesse tipo de sistema a complexidade está relacionada com a variedade e habilidade que seus elementos possuem de mudar e aprender baseados em suas experiências. Exemplos desse tipo de sistema são: colônias de formigas, enxame de insetos, cardumes de peixes e bolsa de valores.

Para a ferramenta de simulação proposta nesse trabalho é preciso uma classificação formal do tipo de sistema que corresponde à bolsa de valores. As bolsas de valores são sistemas complexos adaptativos, devido à ampla variedade de agentes (investidores) e da capacidade desses de aprender a partir de suas experiências.

John Henry Holland, cientista norte americano pioneiro no estudo de sistemas complexos e ciência não linear, também conhecido como o pai dos algoritmos

genéticos, em 1975, no seu livro *Adaptation in Natural and Artificial Systems* [11], foi o primeiro a definir formalmente o conceito de Sistemas Complexos Adaptativos como:

“A Complex Adaptive System (CAS) is a dynamic network of many agents (which may represent cell, species, individuals, firms, nations) acting in parallel, constantly acting and reacting to what the other agents are doing. The control of a CAS tends to be highly dispersed and decentralized. If there is to be any coherent behavior in the system, it has to arise from competition and cooperation among the agents themselves. The overall behavior of the system is the result of a huge number of decisions made every moment by many individual agents”

Ainda no mesmo artigo, Holland define as propriedades de um sistema complexo adaptativo:

- **emergência (*emergence*)** de padrões comportamentais do sistema, ao invés de ter planejado algum mecanismo de controle, os agentes interagem de forma aparentemente aleatória. Dessas interações, emergem mais detalhes além das características individuais dos agentes;
- **co-evolução (*co-evolution*)**, todos os sistemas estão imersos em um ambiente e fazem parte desse ambiente (eles são o ambiente em si). Quando uma fração de qualquer tamanho do sistema é alterada, o sistema como um todo é modificado. Esse processo de mutação deve ser constante;
- **sub-ótimo (*sub-optimal*)**, um sistema complexo adaptativo não precisa ser perfeito para viver em harmonia com o ambiente;
- **variedade (*variety*)**, quanto maior a quantidade de tipos de agentes presente no sistema maior a possibilidade de combinação em busca de uma solução do sistema;
- **conectividade (*connectivity*)**, as formas como os agentes de um sistema dessa natureza se comunicam é de vital importância para o funcionamento do sistema;
- **auto-organização (*self-organizing*)**, não há hierarquia de controle ou comando em um sistema complexo adaptativo. Não há um planejamento

ou método, mas ele estará em constante reorganização para achar a forma mais adequada para o sistema como um todo.

Podemos observar que o mercado de renda variável obedece à maioria das propriedades de um CAS, ele funciona, de maneira não ótima, em harmonia com o ambiente. O sistema possui uma ampla variedade de investidores, desde os mais experientes até os iniciantes, e estes estão em constante mutação e interligados formando hierarquias.

Algumas simulações de sistemas complexos obtiveram grande êxito. Um exemplo é o NAS [12] (*National Airspace System*), sistema de controle do espaço aéreo dos Estados Unidos, que simula a interação de torre de controle, pilotos, aeroportos e serviços técnicos. A realidade virtual é constantemente submetida a situações de estresse como: acidentes, congestionamento, falhas de comunicação e combates aéreos. Com essa simulação é possível observar o comportamento do sistema de acordo com os mais variados cenários.

A modelagem e simulação desses sistemas nos oferecem indicadores de tendências, visão do comportamento social e metrificação de dependências. Essas simulações são de grande valor para diversas áreas das ciências naturais, matemática e ciências sociais, auxiliando como ferramenta para estudos de problemas complexos já conhecidos.

2.4 Sistemas Multi-Agente Inteligentes

Segundo a **FIPA** (FIPA - *Foundation of Intelligent Physical Agents*), agente é uma entidade autônoma que reside em um ambiente onde interpretam dados através de sensores e refletem eventos no ambiente provocando modificações neste e em si próprio. Agentes são especialistas por natureza, eles são designados para execução de tarefas de forma autônoma que normalmente seriam realizadas por algum ser humano. As principais características de um agente são:

- a capacidade de **reagir** rapidamente a alterações no ambiente, ou seja, perceber o meio e responder de modo oportuno;

- **robustez** para ser capaz de tomar decisões baseando-se em informações incompletas ou escassas, lidar com erros e ter uma capacidade de adaptação ou aprendizagem através da experiência;
- um agente deve ser capaz de se **comunicar** com outros sistemas em busca de informações para compor sua base de conhecimentos;
- após treinado o agente deve apresentar um comportamento **autônomo** sem a necessidade de reforço de um especialista no problema tratado.
- um agente deve se **associar** a outros agentes ou sistemas para otimizar a solução do seu problema.

Essas características são encontradas nas diversas categorias de agentes. Os sistemas que usam agentes podem conter uma quantidade variável de agentes, dependendo do problema tratado. Os agentes usados em sistemas podem ser classificados nas seguintes categorias:

- **agentes móveis**, que tem a mobilidade como característica principal. Isto é, uma capacidade de mover-se seja por uma rede interna local (intranet) ou até mesmo pela Internet, transportando-se pelas plataformas levando dados e código. Seu uso tem crescido devido a uma heterogeneidade cada vez maior das redes e seu grande auxílio em tomadas de decisões baseadas em grandes quantidades de informação.
- **agentes situados ou estacionários**, são aqueles opostos aos móveis. São fixos em um mesmo ambiente e ou plataforma. Não se movimentam em uma rede e muito menos na Internet.
- **agentes competitivos**, disputam entre si para a realização de seus objetivos ou tarefas. Ou seja, não há colaboração entre os agentes. Porém dessa competição conseguimos evoluir a solução do problema tratado. Essa categoria é usada em diversos algoritmos de computação evolucionária.
- **agentes coordenados ou colaborativos**, tem por finalidade alcançar um objetivo maior através da realização de tarefas específicas coordenadas de forma que suas atividades se complementam.

- **agentes reativos**, respondem a estímulos sem ter memória do que já foi realizado no passado e nem previsão da ação a ser tomada no futuro. Não tem representação do seu ambiente ou de outros agentes e são incapazes de prever e antecipar ações. Geralmente atuam em sociedades como uma colônia de formiga, por exemplo, em que uma única formiga não apresenta muita inteligência, mas quando age no grupo, o todo comporta-se como uma entidade com certa inteligência. Ou seja, a força de um agente reativo vem da capacidade de formar um grupo e construir colônias capazes de adaptar-se a um ambiente.
- **Agentes Cognitivos**: ao contrario dos reativos, podem raciocinar sobre as ações tomadas no passado e planejar ações futuras. Ou seja, um agente cognitivo é capaz de solucionar problemas por ele mesmo. Ele tem planejamento explícito para atingir seu objetivo final. Para que isso se concretize, cada agente deve ter uma base de conhecimento disponível, que compreende todos os dados coletados e toda a experiência adquirida para realizar suas tarefas, além de interagir com outros agentes e com o próprio ambiente. Sua representação interna e seus mecanismos de inferência o permitem atuar independentemente dos outros agentes e lhe dão uma grande flexibilidade na forma de expressão de seu comportamento. São capazes de ao mesmo tempo memorizar, analisar e prever situações.

Pesquisadores como Michael Wooldridge e Nick Jennings, discutem em [13] as características fundamentais de uma agente inteligente e as suas diferenças para um agente convencional. Segundo Wooldridge, características como reatividade e sociabilidade são suficientes para caracterizar um agente como inteligente.

Sistemas multi-agente são constituídos de múltiplos agentes que interagem ou trabalham em conjunto de forma a realizar um determinado conjunto de tarefas ou objetivos. Esses objetivos podem ser comuns a todos os agentes ou não. A organização dos agentes dentro de um sistema multi-agente pode ser heterogênea ou homogênea, colaborativa ou competitiva, dependendo do problema atacado. A

definição dos tipos de agentes depende da finalidade da aplicação que o sistema multi-agente está inserido.

O modelo estudado neste trabalho será o multi-agente cognitivo que é geralmente composto por uma quantidade bem menor de agentes, se comparado aos sistemas multi-agente reativos. Conforme a definição de agentes cognitivos, os agentes aplicados nesse trabalho são inteligentes e contêm uma representação parcial do ambiente e dos outros agentes. Esses agentes se comunicam entre si para negociar informações e serviços, planejando ações futuras no ambiente. Esse planejamento de ações é possível, pois em geral os agentes cognitivos são dotados de conhecimentos, competências, intenções e crenças, o que lhes permite coordenar suas ações visando à resolução de um problema.

Em nossa simulação os investidores serão modelados através de agentes cognitivos. O ambiente será alimentado com informações da economia real, e os agentes tomarão decisões de compra e venda de papéis no mercado baseando-se em suas heurísticas e relações retiradas dessa base de dados. Os dados que alimentam os agentes poderão ser manipulados, de forma que possamos alterar a função de entrada do sistema, a fim de observar a reação do mesmo. A arquitetura da rede de relações formada pelos agentes pode ser alterada no decorrer do tempo, através da ascensão ou descensão social. Essas características ficarão mais claras no capítulo de experimento.

3. Requisitos para a ferramenta

O sistema se baseará em inteligência artificial distribuída, com agentes autônomos que formam um modelo sociológico da mesma forma que estruturas sociais humanas como: hierarquias, grupos ou mercados. Os agentes estarão dispostos em hierarquias de acordo com seu grau de evolução, podendo haver ascensão ou descensão social, passando da condição de influenciado para a de influenciador do sistema.

O agente deverá possuir comportamentos que poderão ser expandidos em *tempo de execução*¹. Será a partir desses comportamentos, que podem ser análises gráficas, fundamentalistas, setoriais ou econômicas, que os agentes montarão suas bases de conhecimento para fundamentar suas decisões. Essas decisões podem influenciar a população que se encontra nas hierarquias inferiores da árvore social ou serem influenciadas por opiniões do nível acima ao qual o emissor da opinião se encontra.

Deve ser criada uma infra-estrutura de coleta de dados automatizada para alimentar o ambiente simulado. Dentre os principais dados coletados temos:

- **base de dados dos setores econômicos**, assim como seus sub-setores e segmentos. Essa base deve ser compatível com o documento de classificação setorial fornecido pela Bovespa [14];
- **A série de quotas² das 443** empresas que fazem parte da Bovespa (número de ativos encontrados em 30/09/2008);
- o valor em dólar das **principais moedas**;
- **quotas de commodities**;
- **principais índices** econômicos do mundo;

¹ Tempo de execução: sem a necessidade de parar o sistema.

² Valor da unidade representativa para o Mercado de uma empresa. Essa unidade é negociada na bolsa.

- **informações de demonstrações financeiras** de empresas disponíveis no *site* da Bovespa [15].

O sistema pode ser expandido continuamente e dinamicamente, de modo a adicionar novos comportamentos aos agentes e novos agentes sem a necessidade de uma paralisação do sistema. Aumentando, assim, a diversidade de atores no ambiente simulado e a velocidade de busca por uma solução.

A comunicação entre agentes deve ser feita através de um modelo orientado a mensagens. O agente deve emitir mensagens periodicamente para os seus influenciados com suas opiniões e para um centralizador, para que as informações de progresso geral do sistema sejam consolidadas.

A partir da interface gerencial deve ser possível ao operador alterar as informações fornecidas aos agentes, manipulando os vetores de entrada para observar a saída do sistema.

3.1 Arquitetura do sistema

Para o sistema descrito, foram criados três componentes principais:

1. **agente**, é o sub-sistema mais importante da ferramenta construída. Permanece continuamente computando informação do ambiente e reportando para o núcleo e para os agentes que estão na camada inferior da hierarquia. Esses agentes possuirão uma coleção do que chamamos de *behaviours* (comportamentos). A variação na quantidade de comportamentos³ será o que promoverá a diversidade no sistema;
2. **fazendas de agentes**. Como o sistema será distribuído e a carga computacional será dividida por diversas máquinas, existirá uma interface para administração do conjunto de agentes internos a uma máquina hospedeira. São funções desse sistema: iniciar um conjunto

³ Os comportamentos serão análises técnicas, fundamentalistas e setoriais em cima do Mercado que os agentes poderão realizar.

de agentes em paralelo, parar o conjunto de agentes e verificar condições da máquina para execução do conjunto de agentes;

3. **núcleo**, será o local onde as informações produzidas pelos agentes serão consolidadas, além de guardar um estado da hierarquia do sistema com todos os agentes e seus “filhos”, podendo exibir um grafo para análise da evolução de mutação do sistema; Além disso, ele guarda informações de rentabilidade dos agentes.

A camada de comunicação do sistema foi construída usando uma arquitetura orientada a mensagens. Usaremos o ActiveMQ [16] (*Message Broker da Apache*), para criar um tópico⁴ para cada agente e um para o núcleo. O formato utilizado nas mensagens será o YAML (*YAML - Ain't a Markup Language*) por sua portabilidade para a maioria das linguagens de programação existente, legibilidade (texto plano) e facilidade no processo de serialização de estrutura de dados. O protocolo usado pelo nosso barramento é o STOMP (*STOMP - Streaming Text Oriented Protocol*).

Os módulos de comportamentos usados pelos agentes estarão armazenados no núcleo do sistema. Ele será o responsável pela distribuição de comportamentos, formação da hierarquia inicial do sistema e consolidação de informação recebida em tempo real. Esse centralizador de informações é o responsável por fornecer uma interface para observar o grafo que representa a hierarquia do sistema e os relatórios de desempenho dos agentes. Uma máquina de estado que representa o núcleo do sistema é representada na Figura 3.1.

⁴ Estrutura de distribuição de mensagens persistente em que cada membro se cadastra e é possível receber e enviar dados por esse canal.

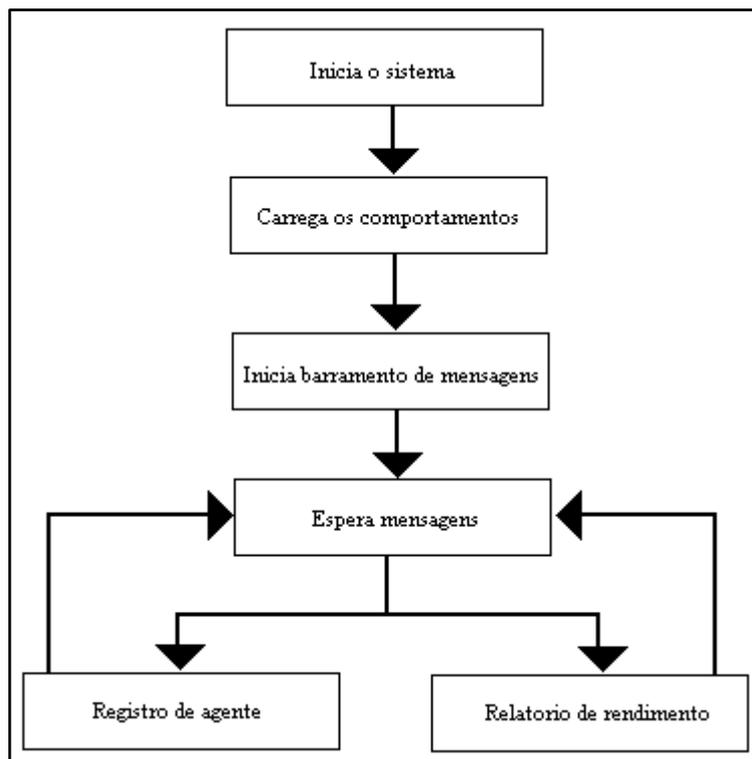


Figura 3.1 Fluxo de execução do núcleo do sistema

Os Agentes do sistema, ao iniciar, serão desprovidos de inteligência e capacidade de processar dados. Essa capacidade será adquirida através dos módulos de comportamentos recebidos através do barramento de mensagens. Todo o comportamento do sistema pode ser atualizado sem a necessidade de uma paralisação nos agentes. Através do protocolo estabelecido entre o agente e o núcleo do sistema podemos enviar novos comportamentos para os agentes dos sistemas em tempo de execução, fazendo com que esses usem os novos comportamentos para fundamentarem suas opiniões.

Ao se cadastrar no sistema, cada agente recebe a informação de quem é o seu tutor (outro agente), esse agente tutor, enviará opiniões sobre a composição da carteira de investimento e deve exercer influência sobre seus agentes “filhos”. O sistema forma hierarquias de influências em forma de árvores com n nós, como mostrada na Figura 3.2. Um agente tutor deve ter mais comportamentos e teoricamente conseguir um desempenho melhor em seus investimentos, suas

decisões devem se propagar para os níveis mais baixos da hierarquia. Como exemplo, na Figura 3.2 o elemento “A” representa o agente que obteve melhores resultados usando o ambiente com as características atuais. Se o ambiente muda suas características a organização dessa árvore também é alterada, favorecendo os agentes que possuem comportamentos mais adequados para o estado do sistema como um todo no momento observado.

Um acontecimento no ambiente tem probabilidade maior de influenciar os agentes nas camadas superiores do sistema devido ao seu maior número de comportamentos, porém com o efeito propagação causado pela influência entre camadas, o efeito desse acontecimento é propagado por todo o ambiente causando um efeito em cascata.

Um tutor pode ser substituído caso algum de seus filhos tenha um desempenho melhor, diminuindo assim a sua influência no desempenho médio do sistema.

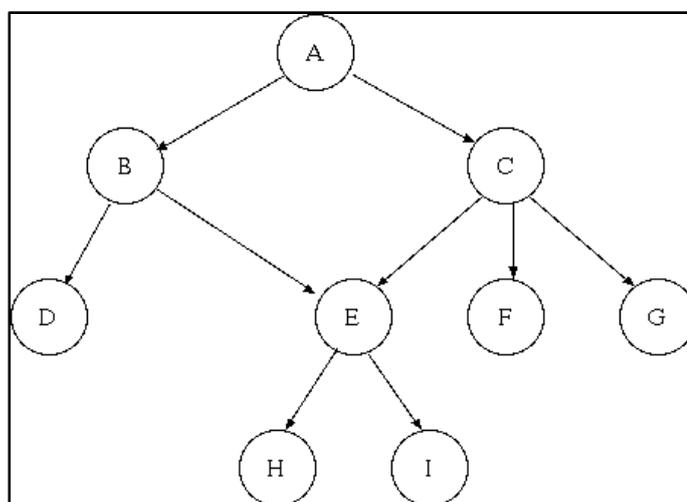


Figura 3.2. Estrutura de dados de uma árvore com n nós

Uma máquina de estados de um agente ao ser iniciado no sistema é representada na Figura 3.3. Ao efetuar o cadastro no núcleo é negociado um nome, onde este será o seu identificador único no sistema. Todas as informações recebidas

do agente serão identificadas por esse índice. Após essa negociação, um canal de mensagens é criado seguindo o seguinte padrão: *“/topic/agent/[identificador_do_agente]”*. Nesse canal o agente receberá os comportamentos para dar início as suas análises e a informação de cadastro de um novo agente filho. O agente periodicamente envia relatórios para o núcleo e informa para os seus filhos qual a sua posição. Um agente deve conter o registro de todos os seus filhos para poder saber para qual canal enviar seus relatórios.

Os agentes podem receber oito tipos de mensagens:

- **RegisterBehaviour.** Cadastra um novo comportamento no agente.
- **UnregisterBehaviour:** Descadastra um determinado comportamento do agente.
- **RegisterAsset.** Cadastra um novo ativo no agente.
- **UnregisterAsset.** Descadastra um ativo do agente.
- **RegisterSon:** Registra um novo filho no agente para receber as mensagens de sugestão.
- **BusyChannel:** É enviada para o agente quando o canal solicitado já está em uso por outro participante ou alguém está tentando acessar o sistema com o seu mesmo identificador.
- **AgentAssets:** Cadastro de ativos nos quais os agentes irão fazer suas análises.
- **FatherOpinion:** Mensagem de opinião do pai do agente, essa mensagem será usada para adicionar ou reforçar a carteira escolhida.

Essas mensagens são esperadas assincronamente e causa o disparo de uma ação interna ao agente.

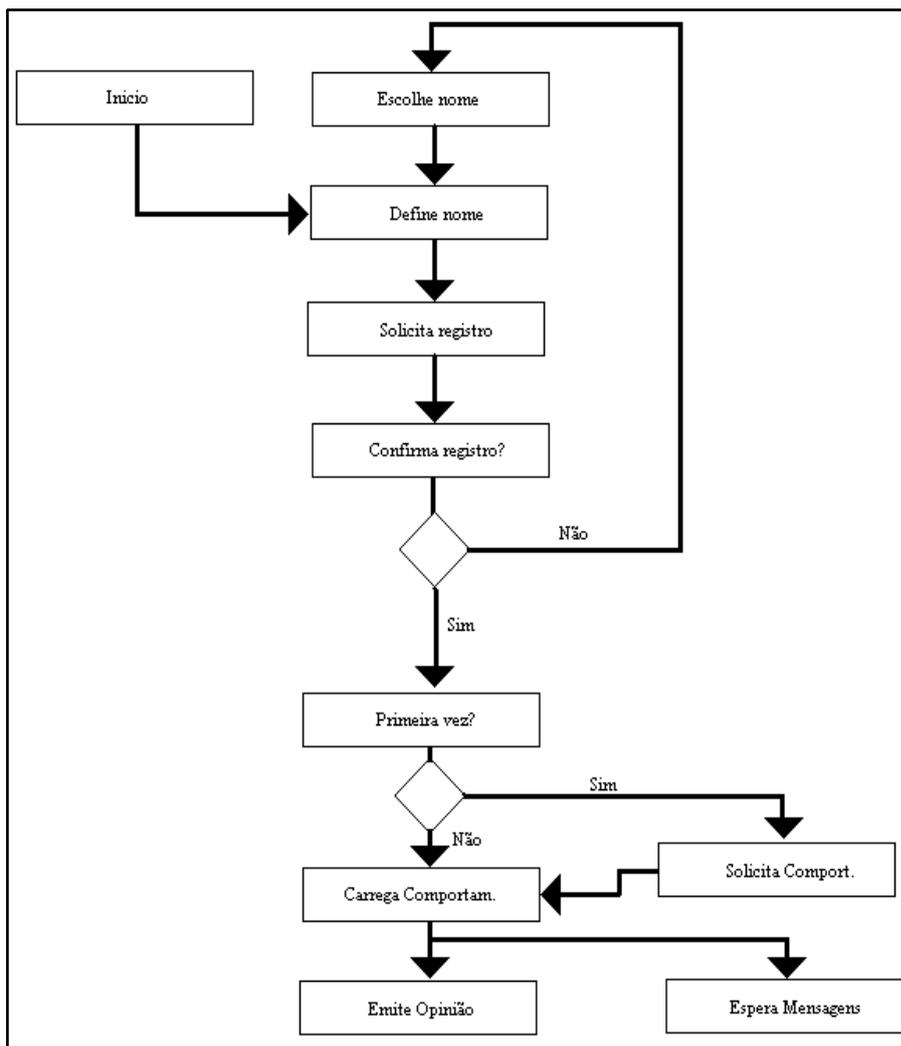


Figura 3.3 Diagrama de fluxo de ações do agente ao ser registrado no sistema.

Os comportamentos dos agentes podem ser mantidos em repositórios separados do resto do código, pois ele funcionará como *módulos independentes carregados dinamicamente* para o sistema. Com essa arquitetura conseguimos um sistema em que sua expansão pode ser feita em paralelo à execução, por equipes de especialistas em cada categoria de *plugins*.

Um *plugin* válido para o sistema possui um formato predefinido esperado pelo núcleo, que se divide em cinco partes principais como mostrado na Figura 3.4. A parte de autoria é o lugar no módulo onde teremos informações de contato e identificação do autor do comportamento, nessa área teremos também informações

sobre o tipo de licença do comportamento podendo haver comportamentos que podem ser distribuídos livremente ou comportamentos privados, com isso a plataforma desenvolvida pode ser usada por empresas que desejam construir uma coleção de comportamentos e não tem a intenção de publicá-los. A segunda seção, de dependências, especifica quais outros *plugins* são necessários para o funcionamento do *plugin* em questão. A área de recursos informa para o agente qual o tipo de recurso necessário para execução do comportamento. Informações é a área que contém uma descrição da funcionalidade geral do comportamento, a técnica usada junto com suas referências e fontes. Por fim, a seção de código que contém a técnica descrita na sessão de informação e retorna para o núcleo do agente a informação que será agregada à base de conhecimentos do agente. Essa informação retornada deve ser o identificador do papel que possui uma determinada tendência de alta ou baixa.

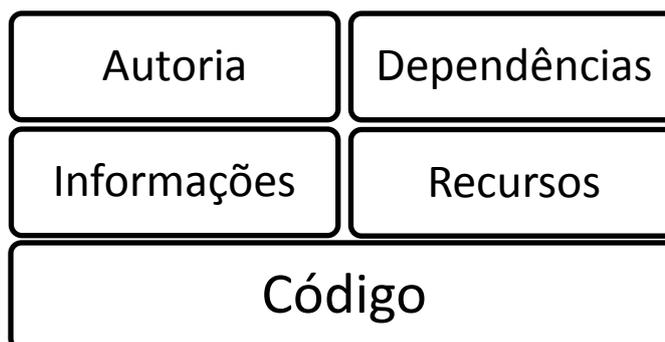


Figura 3.4 Arquitetura esperada de um *plugin* de comportamento.

Inicialmente os comportamentos serão escolhidos aleatoriamente e distribuídos proporcionalmente de acordo com a posição hierárquica de cada agente. A árvore montada é balanceada pela altura de forma que o modelo inicial do sistema é simétrico, semelhante ao mostrado na Figura 3.2, e com uma hierarquia bem definida.

À medida que os agentes apresentarem seus primeiros resultados de rendimento a figura inicial da árvore é alterada, reestruturando para que os agentes mais aptos passem para a condição de influenciador.

O núcleo do sistema deverá emitir relatórios em tempo real baseado nos setores econômicos listados na Tabela 1. Um relatório de qual setor está recebendo mais

investimentos dos agentes assim como qual o setor que está proporcionando maior rentabilidade para seus investidores serão exibidos em tempo real pelo núcleo do sistema. O sistema terá relatórios da influência dos preços das *commodities* no valor dos ativos de um determinado setor.

Tabela 1. Setores econômicos listados na Bovespa.

| Setores Econômicos | | |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Programas e Serviços | Fundos | Holdings Diversificadas |
| Computadores e Equipamentos | Serviços Diversos | Exploração de Imóveis |
| Intermediários Financeiros | Previdência e Seguros | Securizadoras de Recebíveis |
| Gás | Água e Saneamento | Energia Elétrica |
| Comércio | Telefonia Móvel | Telefonia Fixa |
| Hotelaria | Diversos | Lazer |
| Mídia | Utilidades Domésticas | Tecidos, Vestuário e Calçados |
| Saúde | Prods. de Uso Pessoal e de Limpeza | Comércio e Distribuição |
| Fumo | Bebidas | Alimentos |
| Construção e Engenharia | Comércio | Transporte |
| Máquinas e Equipamentos | Serviços | Tecnologia da Informação |
| Equipamentos Elétricos | Materiais Diversos | Material de Transporte |
| Embalagens | Embalagens | Petróleo e Gás |
| Siderurgia e Metalurgia | Mineração | Químicos |

Os agentes devem convergir para o uso do conjunto de técnicas que forneça um maior lucro de acordo com o estado do mercado. Mesmo que o ambiente seja dinâmico o sistema deve se adaptar e nos fornecer essa convergência sem a necessidade de uma intervenção manual do operador.

É possível a injeção de dados ou o uso de filtros de forma que uma determinada série possa ser alterada em tempo de execução. Com isso podemos manipular o vetor de entrada dos agentes e influenciar seu comportamento. Com isso poderemos observar as modificações no sistema em decorrência do filtro aplicado a determinada série e medir a eficácia da simulação. Os filtros que podemos adicionar aos nossos dados são:

1. **Exponencial:** Substitui a série por uma função exponencial simulando um momento de euforia na força compradora do mercado;
2. **Logarítmico:** Substitui a série por uma função logarítmica simulando um momento de euforia na força vendedora do mercado;
3. **Deslocamento:** Amplifica a volatilidade de um ativo;
4. **Módulo:** Torna toda variação de valor de quota de um determinado ativo positiva.

Os agentes estarão coletando cotações e informações correspondentes aos ativos e setores representados pela sua carteira. Cada ativo é representado por uma série temporal que pode receber um filtro. Um exemplo de um filtro do tipo módulo aplicado a uma série temporal que contém as quotas da companhia Vale do Rio Doce é mostrada na Figura 3.5. O filtro foi aplicado a partir das 13 horas, e podemos reparar como o movimento da quota passou a ser apenas ascendente. Na Figura 3.6 podemos ver a aplicação de um filtro exponencial à mesma série temporal estudada no exemplo anterior.

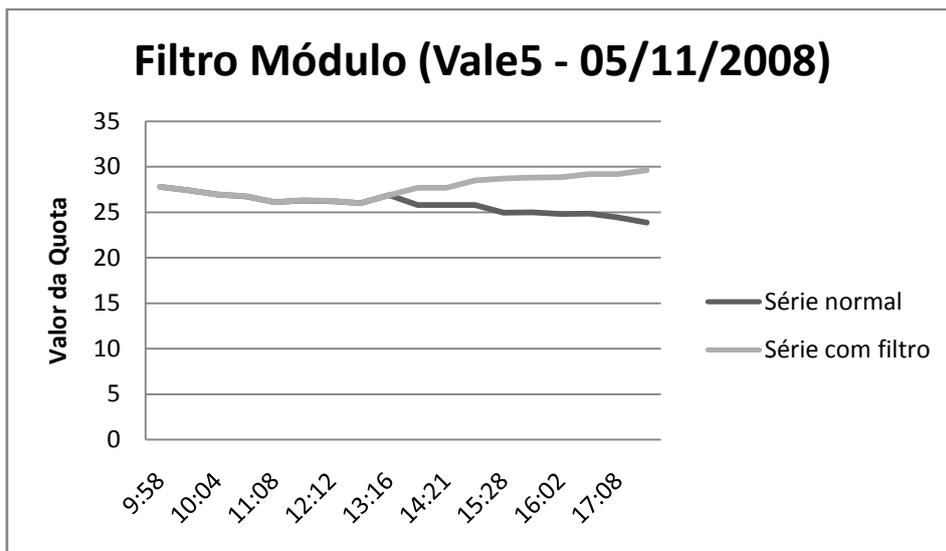


Figura 3.5 Filtro módulo aplicado a série temporal da Vale5

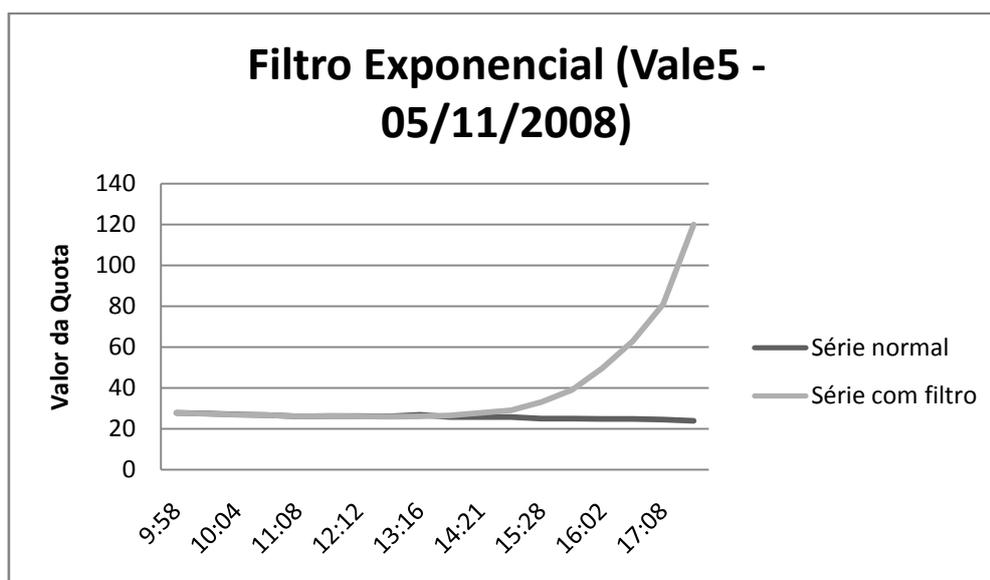


Figura 3.6 Filtro exponencial aplicado a série temporal da Vale5

A aplicação de tais filtros é transparente para o funcionamento dos comportamentos de um agente. O filtro é aplicado diretamente na camada de coleta de dados.

Um agente pode ser desconectado do sistema se ele estiver na base da hierarquia e possuir um prejuízo de 70% em relação ao capital inicial investido. No

momento em que o agente é desconectado, um novo é inserido no sistema com uma nova carteira e um novo conjunto de técnicas. O agente que é excluído do sistema transmite a informação para a nova geração das atitudes que o levaram a ser eliminado. Fazendo com que a nova formação do sistema não use como referência para compor sua carteira os ativos e comportamentos que causaram a redução do rendimento médio do sistema.

Técnicas de Pivoteamento [17] são usadas para determinar qual o lucro alvo e prejuízo aceitável de modo a reduzir os riscos associados a cada transação.

Com essa arquitetura esperamos obter um ambiente de fácil manutenção e expansão para simular o comportamento dos investidores do mercado de renda variável brasileiro.

4. Experimento Prático

O experimento tem por objetivo aplicar um filtro à série temporal que corresponde ao preço do petróleo brasileiro, e observar como o sistema se comporta perante uma variação brusca em seu ambiente. Observar o relacionamento dos agentes e as suas atitudes para tirar proveito da situação. Quais camadas serão influenciadas pela variação e como as atitudes dessa camada irão influenciar a hierarquia do sistema.

A infra-estrutura criada para comportar o sistema é composta de quatro máquinas, uma para colocar o barramento de mensagens (*ActiveMQ*) e as outras três para hospedar os agentes. As configurações de hardware das máquinas usadas no experimento são mostradas na Tabela 2, todas estão geograficamente separadas e a comunicação do sistema é feita através de TCP/IP através da Internet usando o barramento de mensagem do sistema.

Tabela 2. Configuração das máquinas usadas para o experimento.

| Máquinas usadas no experimento | | | |
|--------------------------------|------------------------------|----------------|----------------------------------------------------|
| <i>Hostname</i> | <i>CPU</i> | <i>Memória</i> | <i>Função</i> |
| Envy | Intel Core 2 Duo 2.13 Ghz | 2 GB | 22 agentes, barramento de mensagens e núcleo |
| Pride | Intel Core 2 Duo 2.13 Ghz | 1 GB | Fazenda com 40 agentes |
| Gluttony | Intel Core 2 Duo 2.13 Ghz | 1GB | Fazenda com 40 agentes |
| Lust | Intel Core Duo 2.0 Ghz | 512 MB | Fazenda com 30 agentes |

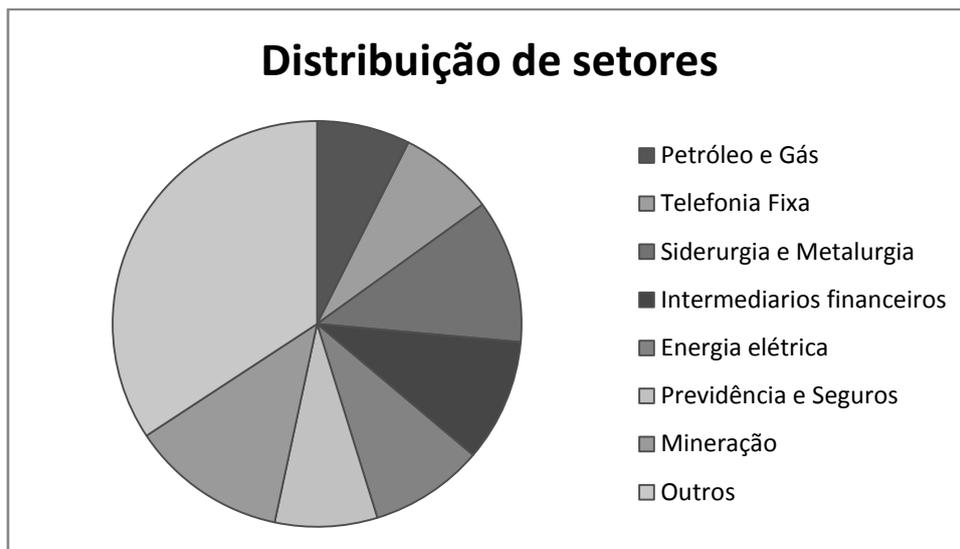


Figura 4.2 Distribuição inicial dos setores de acordo com a carteira dos ativos.

Os comportamentos disponíveis para os agentes do sistema são quatro módulos de análise técnica e um módulo de análise fundamentalista. Os comportamentos implementados para dar fundamento às decisões dos agentes foram:

1. **figuras de reversão em *Candle Stick***. Foi implementado oito padrões de alta nesse módulo. A descrição desses padrões pode ser encontrada no livro de análise gráfica escrito por Eduardo Matsura [17];
2. **volume financeiro**. Um dos principais indicadores de uma reversão de tendência é a variação de volume de investimentos. Esse comportamento nos oferece indicadores de reversão baseados no volume financeiro de um determinado papel;
3. **commodities**. Esse comportamento oferece um indicador baseado na variação de preços de elementos usados como base para um determinado setor financeiro. É analisado preço de petróleo, alumínio, ferro, madeira etc;
4. **variação por setor econômico**. Esse módulo observa o desempenho setorial de um determinado papel e observa se o papel está com um movimento contrário a tendência dos seus concorrentes;
5. **análise fundamentalista** baseada na situação financeira, econômica e mercadológica das empresas, através dos dados de balanço financeiro fornecidos pela Bovespa.

Esses comportamentos são distribuídos através dos agentes do sistema, dependendo da hierarquia um agente pode ter de dois a cinco desses módulos. Essa combinação de comportamentos diferentes junto com a possibilidade de formação de uma grande diversidade de carteiras de investimento nos proporciona uma grande quantidade de perfis distintos interagindo em paralelo. Com essa combinação conseguimos explorar o ambiente de forma eficiente em busca de uma combinação de técnicas que nos proporciona o maior lucro para um determinado estado do ambiente.

Um agente pode ser excluído do sistema a partir do momento que ele está na base do sistema e com 70% de prejuízo, isso significa que as suas opiniões não são ouvidas por nenhum outro participante do sistema, pois a combinação de carteira e técnicas não lhe proporcionou uma rentabilidade.

Após 21 dias úteis de execução (período entre 10/10 até 08/11), o sistema apresentou o comportamento registrado na Tabela 3. Ocorreram 15 desconexões do sistema e 31 mudanças de hierarquia social entre os agentes. Apesar do pouco tempo de experimento podemos notar que o lucro médio do sistema tem melhorado ao decorrer do tempo, levando em consideração o período de recessão da economia das grandes potencias mundiais e desaceleração das economias emergentes essa desvalorização é exibida na Figura 4.3 onde o Ibovespa caiu de 73.065 para 33.070 pontos em cinco meses, o que representa uma desvalorização de mais de 50%. Tendo em vista essa situação observamos que os resultados dos agentes foram satisfatórios em relação à média dos investidores reais e a simplicidade dos comportamentos usados até o momento.

Tabela 3. Métricas do sistema no período de 10/10 até 07/11.

| Período | Desconexões | Ascensões | Lucro máximo | Lucro médio |
|---------------|-------------|-----------|--------------|-------------|
| 10/10 – 17/10 | 8 | 11 | -1.461% | -23.430% |
| 20/10 – 24/10 | 5 | 5 | +1.232% | -18.505% |
| 27/10 – 31/10 | 1 | 7 | +3.334% | -11.022% |
| 02/11 – 07/11 | 1 | 8 | +3.711% | -10.111% |



Figura 4.3 Gráfico *Candle Stick* do Ibovespa no período de Junho a Novembro de 2008

Após esse período verificamos através da Figura 4.4 que a distribuição da carteira dos agentes foi alterada mostrando que os setores de mineração, siderurgia, petróleo, varejo e intermediários financeiros foram os que proporcionaram uma maior rentabilidade para os agentes. De fato, os ativos listados nesses setores possuem uma maior liquidez no mundo real, isso faz com que o plano de contenção de prejuízos e projeção de lucro através de pivôs, usado pelos agentes sejam mais eficazes, pois a probabilidade de *Gaps* no preço dos ativos diminui.

Com as modificações na hierarquia do sistema obtemos uma nova estrutura mostrada na Figura 4.5. Note que não existe mais semelhança entre o grafo inicial do sistema para o que foi formado após um período de investimentos. Essa estrutura deve se adaptar ao estado do ambiente em que os agentes estão inseridos sem a

necessidade de uma intervenção humana, reorganizando o sistema de forma que os participantes mais aptos se destaquem.

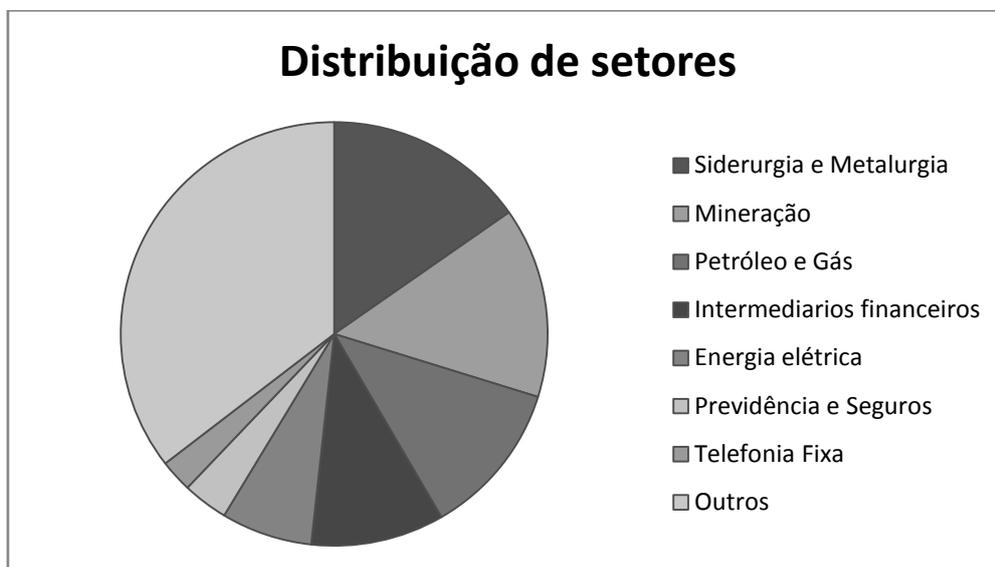


Figura 4.4 Distribuição dos setores de acordo com a carteira dos ativos no período de 10 de Outubro até 08 de Novembro.

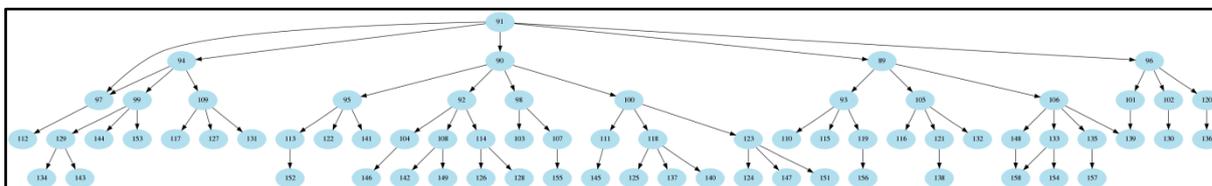


Figura 4.5 Grafo do sistema após 21 dias de investimento.

Com essa estrutura formada a partir de 21 dias de investimentos, aplicamos um filtro de exponencial ao valor do preço do petróleo representado na Figura 4.8, para poder observar qual a reação dos agentes. Após a aplicação do filtro notamos que a influência dessa modificação no ambiente foi propagada para quase todos os investidores do sistema, como mostrado no novo gráfico de distribuição de investimentos por setor mostrado na Figura 4.6. Como o preço do petróleo aumentou e isso é um indicador positivo para as petrolíferas então as carteiras dos agentes foram influenciadas para conter mais papéis relativos a esse setor econômico.

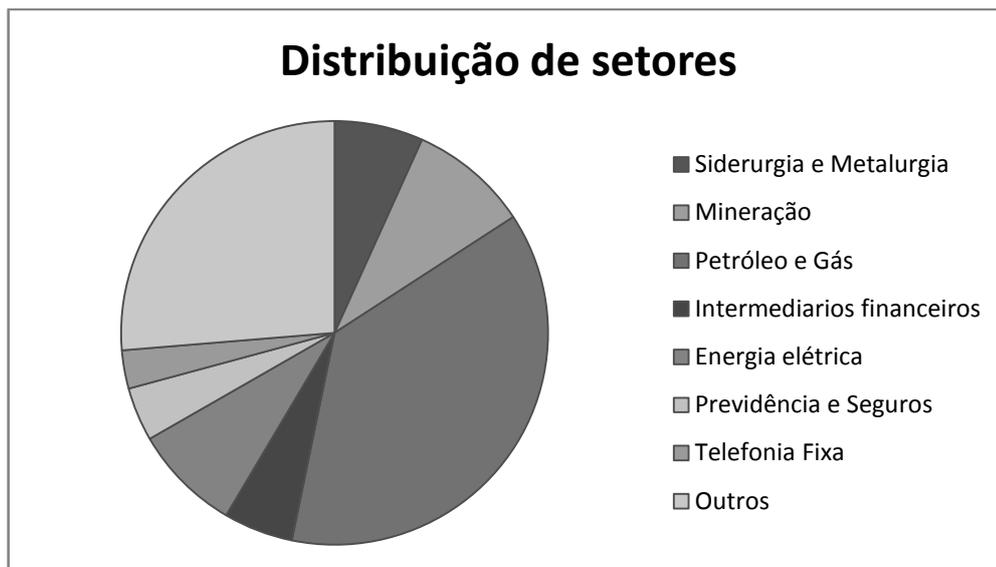


Figura 4.6 Distribuição da carteira após aplicação e filtro no preço do petróleo.

Em sete dias úteis já observamos características satisfatórias. Um detalhe é que apesar do preço do petróleo ter subido exponencialmente o valor dos ativos desse setor não receberam nenhum filtro e estava em queda, o que ocasionou grandes perdas para os agentes, fazendo que muitos fossem desconectados do sistema. A estrutura inicial dos agentes afetados pela mudança é exibida no item (a) da Figura 4.7, após algum tempo o efeito da variação no preço do petróleo se propaga através do sistema através das sugestões transmitidas de um agente pai para os seus filhos, esse efeito propagação é mostrado na (b) da Figura 4.7. Notamos que o lucro médio do sistema caiu acentuadamente, e mesmo que o preço do petróleo continue a subir exponencialmente irá existir um momento que os agentes que estão sendo excluídos do sistema irão alertar o motivo de sua queda para a nova geração, o que fará com que o sistema se equilibre novamente, fazendo com que, devido ao prejuízo, as novas gerações não invistam mais nesse setor de petróleo e derivados, mesmo com os indicadores (artificiais) apontando compra. Após a propagação do evento pelo sistema vem o efeito de dispersão mostrado no item (c) da Figura 4.7, já que os agentes que tiveram prejuízo além do esperado são eliminados do sistema. O sistema converge para a adaptação à alteração introduzida no ambiente, através da experiência deixada para as novas gerações pelos que são eliminados. No caso da alteração feita, o que aconteceu é que os agentes eliminam

ativos do ramo petrolífero de suas carteiras, pois apesar da tendência de alta, esses não são rentáveis para a atual configuração do ambiente.

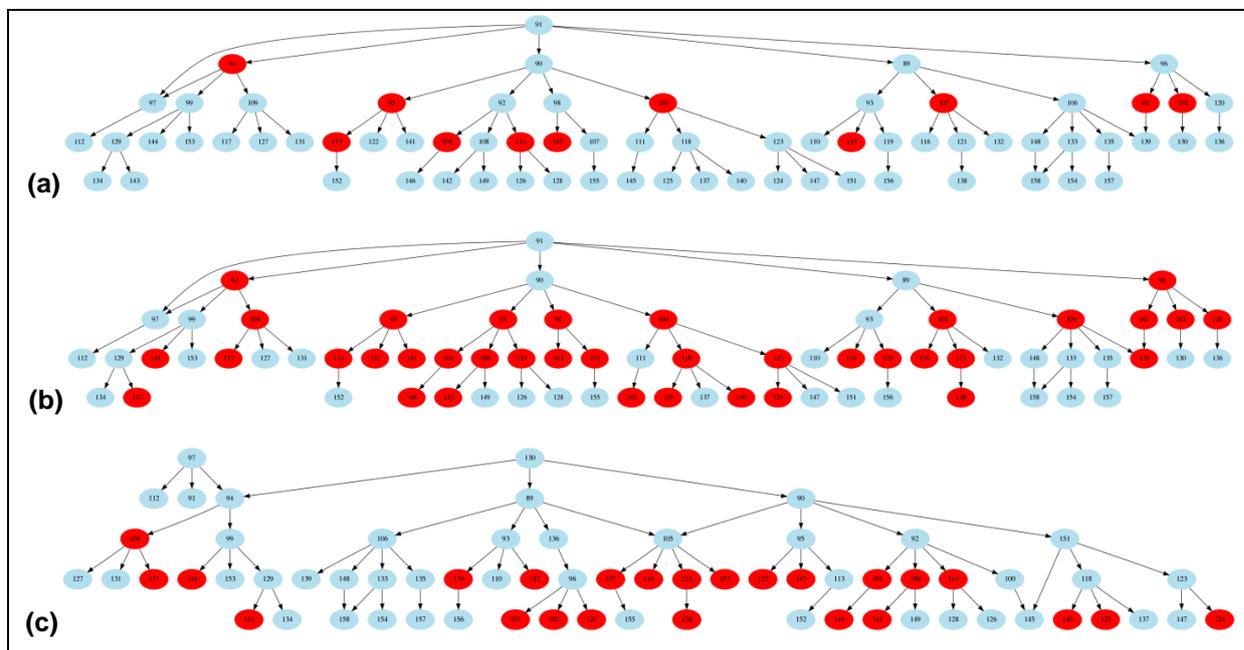


Figura 4.7 Influência do petróleo no sistema. **(a)** Influência inicial no sistema. **(b)** propagação da influência no sistema. **(c)** Dissipação da influência no sistema.

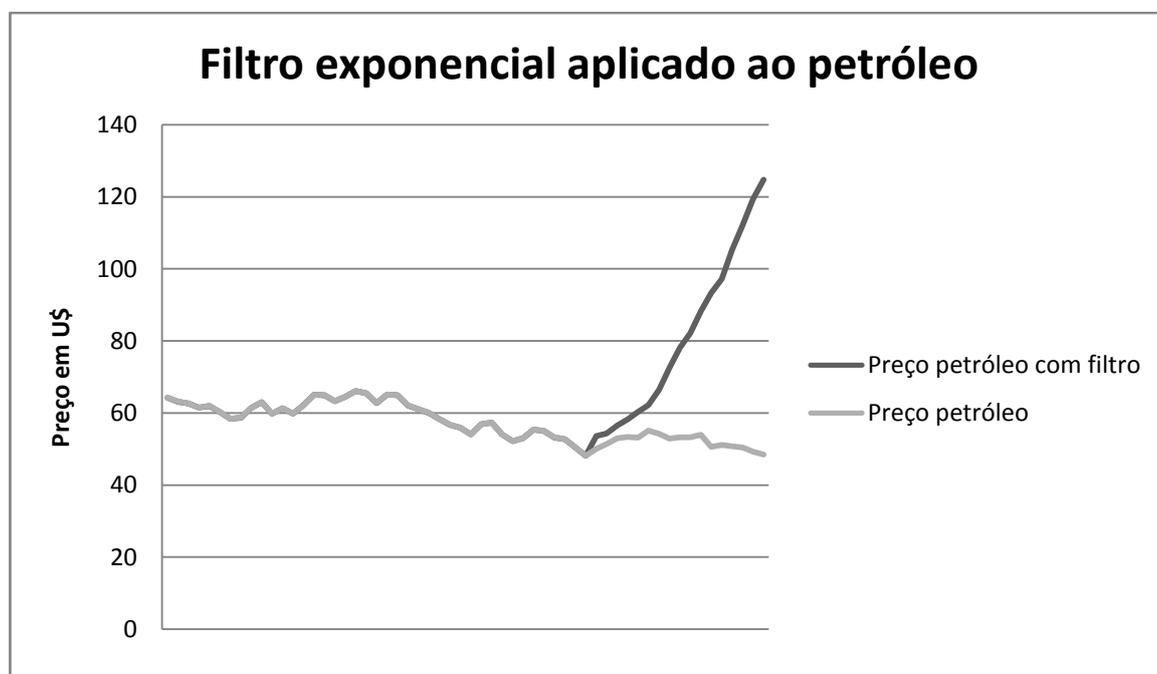


Figura 4.8 Influência de um filtro exponencial no valor da quota do petróleo

Na tabela Tabela 4, podemos notar o efeito da aplicação do filtro no ambiente simulado estudado. O lucro máximo do sistema estava alto, após a aplicação do filtro ele cai bruscamente e após a estabilidade ele começa a se recuperar, porém o lucro obtido nessa nova geração não é mais em decorrência das empresas do setor petrolífero.

Tabela 4. Métricas do sistema no período de 10/11 até 18/11.

| Período | Desconexões | Ascensões | Lucro máximo | Lucro médio |
|---------|-------------|-----------|--------------|-------------|
| 10/11 | 1 | 2 | +8.313% | -12.430% |
| 11/11 | 1 | 1 | +7.171% | -18.333 % |
| 12/11 | 3 | 4 | +4.434% | -25.022% |
| 13/11 | 6 | 7 | +3.711% | -28.333% |
| 14/11 | 5 | 2 | -1.222% | -29.507% |
| 17/11 | 2 | 0 | -0.027% | -23.109% |
| 18/11 | 3 | 3 | +1.324% | -19.010% |

Com esse simples experimento conseguimos observar que o sistema simulado consegue uma boa adaptação a dinamicidade do ambiente estudado. Assim como fizemos variar o preço do petróleo poderíamos fazer estudos com outras *commodities*.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Usando a arquitetura proposta nesse trabalho podemos simular eventos na bolsa de valores de São Paulo, auxiliando empresas, investidores e órgãos reguladores a ter uma noção do impacto de determinados eventos no ambiente estudado. Investidores poderão obter orientação quanto aos seus investimentos de acordo com o estado do ambiente em tempo real. Sistemas reguladores do mercado poderão usar tal simulação para detectar padrões de fraudes, conspirações e especulações, tornando o mercado mais justo e estável para as empresas de capital aberto.

Uma modelagem e uma aplicação prática para simulação de sistemas complexos adaptativos foi mostrada. A arquitetura descrita pode ser usada para modelagem de problemas complexos que apresentam um comportamento em sociedade.

O código do núcleo do sistema e um conjunto de comportamentos iniciais irá ser *Open Source* (Código livre), para quem quiser fazer suas próprias simulações e desejar personalizar o mesmo para suas necessidades.

Bibliografia

- [1] E. F. Fama, **Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work**. Journal of Finance, Volume 25, Issue 2, Papers and Proceedings of the Twenty-Eighth Annual Meeting of the American Finance Association New York, N.Y. December, 28-30, 1969 (May, 1970), 383-417.
- [2] S. A. Nelson, **ABC of Stock Speculation**, Fraser Pub. Co., 1997
- [3] Smuts, J. C. **Holism and Evolution**, Greenwood Press Reprint; New Ed edition (July 25, 1973), 0837165563.
- [4] VASCONCELLOS, Maria José Esteves de. **Pensamento Sistemico - O Novo Paradigma da Ciência**. SP, Campinas: Papirus, 2003.
- [5] Jung, C. G.. **Mysterium coniunctionis I - III**, 4 Ed, Vozes, 8532617581
- [6] J. Kennedy, and R. Eberhart, **Particle Swarm Optimization**, in Proc. of the IEEE Int. Conf. on Neural Networks, Piscataway, NJ, pp. 1942–1948, 1995
- [7] Schumpeter A.J., **The Economics and Sociology of Capitalism**, Princeton University Press (January 1, 1991), 0691003831
- [8] Henri P. and Jean, L.C., **Distributed Evolutionary Algorithms for Simulation Optimization**, Systems, Man and Cybernetics, Part A, IEEE Transactions on Volume 30, Issue 1, Jan 2000
- [9] Darwin, C. **The Origins of Species**, Gramercy (May 22, 1995), 0517123207
- [10] Poincaré, H. and Greenstreet W.J., **Science and Hypothesis**, Cosimo Classics (May 1, 2007), 1602065055
- [11] Holland, John H. , **Adaptation in natural and artificial systems**, The MIT Press (April 29, 1992), 0262581116
- [12] Seung Man Lee; Remington, R.W.; Ravinder, U, **Framework for Modeling and Siulating Human Behaviour in Complex Systems**, Systems, Man and Cybernetics, 2005 IEEE International Conference on Volume 4, Issue , 10-12 Oct. 2005 Page(s): 3161 - 3166 Vol. 4

- [13] M. Wooldridge., **Multiagent Systems A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence**, MIT Press, 2000, 0262731312
- [14] **Documento com lista de setores e sub-setores da Bovespa.**
Disponível em: < <http://www.bovespa.com.br/pdf/ClassifSetorial.pdf> >. Acesso em: 02 de Dez. 2008.
- [15] **Fundamentos das empresas de capital aberto cadastradas na Bovespa.**
Disponível em: < <http://www.bovespa.com.br/InformacoesEmpresas.asp> >. Acesso em: 02 de Dez 2008.
- [16] **Tecnologia usada como barramento de mensagens do sistema.**
Disponível em: < <http://activemq.apache.org/> >. Acesso em: 02 de Dez. 2008.
- [17] Matsura Eduardo, **Comprar ou Vender?**, 6 Edição, Saraiva,2007, 8502056905