Claudio Robinson Tapié Pereira

**SISTEMA DE TOMADA DE DECISÃO PARA COMPRA E VENDA DE
ATIVOS FINANCEIROS UTILIZANDO LÓGICA FUZZY**

São Paulo
2008

Claudio Robinson Tapié Pereira

**SISTEMA DE TOMADA DE DECISÃO PARA COMPRA E VENDA DE
ATIVOS FINANCEIROS UTILIZANDO LÓGICA FUZZY**

Dissertação apresentada a Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica

São Paulo
2008

Claudio Robinson Tapié Pereira

**SISTEMA DE TOMADA DE DECISÃO PARA COMPRA E VENDA DE
ATIVOS FINANCEIROS UTILIZANDO LÓGICA FUZZY**

Dissertação apresentada a Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Sistemas Eletrônicos
PSI

Orientador: Prof. Dr. Flavio Almeida de
Magalhães Cipparrone

São Paulo
2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Pereira, Claudio Robinson Tapié

**Sistema de Tomada de Decisão para Compra e Venda de Ativos Financeiros
Utilizando Lógica Fuzzy / C. R. T. Pereira. -- São Paulo, 2008.
128 p.**

**Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.**

**1.Tomada de decisão 2. Compra e venda 3. Fuzzy I. Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos II. t.**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha querida avó,
Eny.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Flavio Almeida de Magalhães Cipparrone, que acreditou e apoiou este trabalho.

Aos meus pais (Carlos e Regina), à minha namorada e cientista (Mônica), aos meus amigos (Celio e Diogo) que participaram do início deste projeto durante a graduação e a todos que contribuíram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

I think...

(Charles Robert Darwin – texto extraído de seu caderno de notas a respeito de seus primeiros pensamentos sobre a Teoria da Evolução)

Prefiro a verdade dura à fantasia consoladora, pois, geralmente, no fim, os fatos revelam-se mais consoladores.

(Carl Sagan – extraído de “O mundo assombrado pelos demônios – A ciência vista como uma vela no escuro”)

RESUMO

O Sistema Proteu Fuzzy é um sistema de tomada de decisão para compra e venda de ativos financeiros que visa auxiliar a figura do analista técnico (de modo imparcial e racional), informando quando existe uma boa oportunidade para se comprar ou vender um determinado ativo (e.g. ações). Utilizaram-se, como base para as suas decisões, técnicas de inteligência artificial (Lógica Fuzzy) e indicadores técnicos (Médias Móveis, MACD e RSI). As simulações mostram que o sistema conseguiu gerar resultados de forma consistente e com menor volatilidade que o mercado para alguns ativos.

Palavras-chave: Sistema de Tomada de Decisão. Lógica Fuzzy. Previsão. Simulação. Técnicas Computacionais.

ABSTRACT

The “Proteu Fuzzy System” is a decision-making system with the purpose of supporting a technical analyst issuing (impartial and rational) buy and sell signals for a financial asset. The system use, for the decision-making process, an inference engine based on Fuzzy Logic and technical indicators (e.g. Moving Averages, MACD and RSI). The simulation shows that the system is able to generate profits in a consistent manner and with a lower volatility then the market for some assets.

Keywords: decision-making systems. Fuzzy Logic. Forecasting and Simulation. Computational Techniques.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1:- Representação do processo de tomada de decisão realizada</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2:- Diagrama de Inferência representando passo-a-passo todas as etapas ..</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3:- Representação das Séries Temporais e dos Modelos Econômicos</i>	<i>39</i>
<i>Figura 4:- Representação das etapas de Fuzzificação, Inferência das Regras e Defuzzificação</i>	<i>40</i>
<i>Figura 5:- Diagrama de Inferência do Sistema de Tomada de Decisão.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 6:- Diagrama representando troca de informações entre Usuário e Sistema .</i>	<i>41</i>
<i>Figura 7:- Representação da modularização das planilhas.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 8:- Representação do ganho acumulado por operação</i>	<i>50</i>

LISTA DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1:- Gráfico das Médias Móveis de 10 e 50 dias.....</i>	<i>19</i>
<i>Gráfico 2:- Gráfico do Modelo Técnico MACD.....</i>	<i>20</i>
<i>Gráfico 3:- Gráfico do Modelo RSI calculado para o Índice BOVESPA</i>	<i>23</i>
<i>Gráfico 4:- Representação inicial da variável lingüística RSI</i>	<i>28</i>
<i>Gráfico 5:- Representação da variável lingüística RSI utilizada no modelo.....</i>	<i>29</i>
<i>Gráfico 6:- Representação das variáveis lingüísticas inicialmente utilizadas</i>	<i>30</i>
<i>Gráfico 7:- Representação das variáveis lingüísticas MACD e MA</i>	<i>31</i>
<i>Gráfico 8:- Representação da variável lingüística STATUS</i>	<i>32</i>
<i>Gráfico 9:- Exemplo de fuzzificação da variável lingüística RSI.....</i>	<i>32</i>
<i>Gráfico 10:- Projeção das regras sobre as variáveis de saída.....</i>	<i>37</i>
<i>Gráfico 11:- Evolução do Valor Acumulado dos Modelos do Sistema</i>	<i>48</i>
<i>Gráfico 12:- Evolução do Valor Acumulado dos Modelos do Sistema</i>	<i>49</i>
<i>Gráfico 13:- Evolução do Valor Acumulado por Operação do Sistema FUZZY</i>	<i>51</i>
<i>Gráfico 14:- Evolução do Valor Acumulado por Operação do Sistema FUZZY STOP</i>	<i>52</i>
<i>Gráfico 15:- Evolução do desempenho dos Modelos do Sistema versus desempenho do mercado.....</i>	<i>55</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:- Cálculo do RSI para uma série de preços.....	22
Tabela 2:- Tabela com as 18 (dezoito) regras inicialmente utilizadas para simular o conhecimento do analista financeiro	33
Tabela 3:- Tabela com as 10 (dez) regras utilizadas para simular o conhecimento do analista financeiro	34
Tabela 4:- Cálculo da Implicação das Regras.....	36
Tabela 5:- Valores de pré-calibração e simulações do sistema	44
Tabela 6:- Períodos de pré-calibração e simulações do sistema.....	44
Tabela 7:- Ativos analisados pelo sistema Proteu Fuzzy.....	45
Tabela 8:- Resumo de desempenho descrito no <i>Gráfico 11</i>	53
Tabela 9:- Desempenho detalhado descrito no <i>Gráfico 12</i>	54
Tabela 10:- Resumo de desempenho: Redes Bayesiana x Lógica Fuzzy.....	58

LISTA DE FÓRMULAS

<i>Fórmula 1:- Média Móvel.....</i>	17
<i>Fórmula 2:- Média Móvel Exponencial.....</i>	20
<i>Fórmula 3:- Cálculo do Índice de Força Relativa.....</i>	21
<i>Fórmula 4:- Cálculo pelo método das médias ponderadas.</i>	35
<i>Fórmula 5:- Cálculo do retorno de um período.</i>	53
<i>Fórmula 6:- Cálculo da volatilidade anualizada.</i>	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATR	Average True Range
BD	Banco de Dados
BOVESPA	Bolsa de Valores do Brasil
BM&F	Bolsa de Mercadorias e Futuros
BLOOMBERG	Sistema de Provisão de Informações Bloomberg
CAC	Índice da Bolsa da França
DAX	Índice da Bolsa da Alemanha
DOLAR	Taxa de câmbio - Dólar americano (venda) - u.m.c./US\$
EMA	Exponencial Moving Average
IBOV	Índice BOVESPA
IBOVESPA	Índice BOVESPA
IFR	Índice de Força Relativa
NIKKEI	Índice Nikkei da Bolsa de Valores do Japão
NKY	Sigla que representa o índice Nikkei
MA	Moving Average
MACD	Moving Average Convergence Divergence
C 1	Sigla para a commodity Milho
MM	Médias Móveis
MME	Médias Móveis Exponenciais
GOLDS	Ouro BM&F - grama - u.m.c.
CL1	Sigla para a commodity Petróleo
RSI	Relative Strength Index
SISBACEN	Sistema de Informações do Banco Central
S 1	Sigla para a commodity Soja
SP500	Índice calculado pela consultoria americana Standard&Poor's que reflete o desempenho das 500 maiores empresas industriais norte-americanas
SPTSX	Índice da Bolsa do Canadá
STOP/LOSS	Métrica utilizada para limitar perdas
UKX	Índice da Bolsa de Londres

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO	1
1.2	ANTECEDENTES.....	2
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2	DESENVOLVIMENTO	4
2.1	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.2	MERCADO DE CAPITALIS	6
2.3	MERCADO DE AÇÕES.....	7
2.4	O MERCADO À VISTA.....	9
2.5	MERCADOS EFICIENTES	11
2.6	FINANÇAS COMPORTAMENTAIS.....	12
2.7	ACOMPANHAMENTO DE TENDÊNCIAS.....	13
2.8	ANÁLISE TÉCNICA.....	15
2.8.1	INDICADORES TÉCNICOS.....	15
2.8.2	MÉDIAS MÓVEIS	16
2.8.3	MACD	19
2.8.4	RELATIVE STRENGTH INDEX (RSI)	21
2.9	LÓGICA FUZZY.....	25
2.9.1	INTRODUÇÃO.....	25
2.9.2	MODELAGEM FUZZY DO CONHECIMENTO ESPECIALISTA	26
3	DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	39
3.1	MATERIAIS	42
3.2	CALIBRAÇÃO DO SISTEMA.....	43
4	AVALIAÇÃO E RESULTADOS	45
4.1	AVALIAÇÃO DO SISTEMA	45
4.1.1	CRITÉRIOS UTILIZADOS NA ANÁLISE	46
4.2	RESULTADOS	47
4.3	LÓGICA FUZZY x REDES BAYESIANAS	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
5.1	CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS	61
5.2	CONTRIBUIÇÕES.....	61
5.3	TRABALHOS FUTUROS.....	62
	REFERÊNCIAS.....	64
	REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES	67
	APÊNDICE A – Adaptações nos modelos técnicos.....	68
	APÊNDICE B – Resultado das simulações para outros ativos.....	72
	APÊNDICE C – Redes Bayesianas.....	107
	ANEXO A - Descrição dos ativos no Sistema Bloomberg	113

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios (se não, o maior!) que existe atualmente no mercado financeiro é a questão de quando seria o melhor momento para se comprar ou vender um determinado ativo. Será que a Bolsa de Valores vai subir ou vai cair amanhã? E a Petrobrás, Vale do Rio Doce, Lojas Americanas... será que é um bom momento para comprar ou vender suas ações?

Quando um analista financeiro (seja ele um *trader*, um gestor de fundos ou um *homebroker*) toma uma decisão, geralmente, esta decisão é baseada em algumas informações que foram coletadas ao longo do tempo (jornais, TV, análises de balanços, análises técnicas, etc) e raramente na “sorte”. A partir do momento que o analista possui todas as informações que julga ser relevante para tomar a sua decisão, a decisão é tomada.

A existência de algum modelo ou ferramenta de suporte à decisão, na etapa de análise do processo de investimento feita por este analista, que o auxiliasse na tomada de decisão, filtrando dados numéricos diversos (provindos, por exemplo, de indicadores técnicos, índices inflacionários, retorno do investimento) os quais dependeriam da experiência do analista na interpretação destes números, poderia facilitar sobremaneira a tomada de decisão, não apenas agilizando o processo decisório, mas também diminuindo o risco de decisões irracionais ou motivadas apenas pela emoção.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de sistema especialista de suporte a decisão, capaz de simular o comportamento de um analista financeiro, gerando recomendações diárias de compra ou venda de ativos de modo imparcial, racional, ágil e com menor risco.

Para o desenvolvimento deste modelo, utilizar-se-á Teoria Fuzzy, em particular, mecanismos de inferência baseados em Lógica Fuzzy, e Indicadores Técnicos, os quais servem como base para simular o conhecimento do especialista.

Diferentemente de um Trading System, este sistema não possui a capacidade de operar ativos, mas sim, fornecer informações com as possibilidades de alta (ou baixa) destes. Na prática, funcionaria como uma ferramenta de suporte à decisão na etapa de análise do processo de investimento feita por um analista. A idéia na utilização desta ferramenta é evitar que com que o analista tome decisões precipitadas ou irracionais, o que poderia levá-lo a incorrer em um prejuízo.

1.2 ANTECEDENTES

O “Sistema de Tomada de Decisão para Compra e Venda de Ativos Financeiros utilizando Lógica Fuzzy”, denominado Proteu* Fuzzy, foi inspirado em um trabalho de conclusão de curso (HIRA; ITO; PEREIRA, 2004) realizado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Neste projeto, utilizou-se, para o processo de tomada de decisão, a técnica de inteligência artificial conhecida como Redes Bayesianas (Bayesian Networks). Portanto, será também observado os benefícios e/ou prejuízos que a substituição das Redes Bayesianas pela Lógica Fuzzy trouxe para o sistema.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Nos capítulos que se sucedem, serão feitas a fundamentação lógica do trabalho. Primeiramente, será realizado uma revisão de literatura (2.1), mostrando os estudos que mais se assemelhariam com o modelo proposto neste trabalho.

* Proteu: Deus da mitologia grega que tem o poder de enxergar o passado, presente e o futuro.

Posteriormente pretende-se apresentar o funcionamento básico e a estrutura do mercado de capitais (2.2), do funcionamento do mercado acionário (2.3) e do mercado a vista (2.4), onde se tem a principal área de atuação do sistema Proteu Fuzzy. Ainda no campo da Economia, serão apresentados algumas teorias do conhecimento existentes (2.5 ao 2.7). No item 2.8 será apresentado uma introdução aos modelos de análise técnicas que serão empregados no sistema, suas principais funções e metodologias de cálculos. Após o encerramento dos temas de cunho “Econômico”, dar-se-á início a introdução a Lógica Fuzzy e seu funcionamento (2.9). No capítulo 3 será apresentado como os indicadores técnicos e a Lógica Fuzzy se relacionam para que o sistema consiga simular o comportamento de um especialista. No capítulo 4 serão apresentados os principais resultados obtidos pelo sistema, através das simulações dos dados históricos para o Índice BOVESPA (as simulações realizadas com outros índices, poderão ser visualizados no APÊNDICE B – Resultado das simulações para outros ativos). Neste capítulo são realizadas comparações detalhadas de desempenho do sistema em relação ao mercado e em relação a cada um dos modelos técnicos trabalhando de forma isolada, além disto, apesar deste não ser o intuito deste trabalho, também será realizado uma breve comparação de desempenho entre as técnicas de Lógica Fuzzy e Redes Bayesianas (4.3). Finalmente, serão realizados alguns comentários finais (5), comparando-se os resultados esperados com os resultados obtidos, bem como o cumprimento dos objetivos propostos (5.1), contribuições realizadas por este trabalho (5.2) e a possibilidade de trabalhos futuros (5.3).

2 DESENVOLVIMENTO

Para a fundamentação lógica do trabalho, pretende-se contextualizar o estado da arte existente com o modelo proposto, o qual utiliza Lógica Fuzzy e indicadores técnicos. Além disto, será realizada uma exposição ordenada e pormenorizada sobre o ambiente onde este trabalho se insere (estrutura do mercado de capitais, mercado de ações), as principais áreas do pensamento existentes no mercado financeiro e o funcionamento da Lógica Fuzzy.

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

O uso de técnicas de inteligência artificial voltadas para a previsão do comportamento do mercado acionário data do final da década de 80, onde White (1988), aparentemente, foi o primeiro a utilizar redes neurais na tentativa de extrair regularidades não-lineares de séries econômicas temporais, para detecção de possíveis movimentos nos preços de ações.

Nos anos subseqüentes, outras técnicas de inteligência artificial foram empregadas com algum êxito na tentativa de detectar tendências no mercado acionário. Além disto, tais modelos passaram a utilizar, além dos preços dos ativos, alguns indicadores técnicos como parâmetros de entrada, como o modelo proposto por Kuo (1996), o qual obteve resultados significativamente melhores se comparados com modelos de regressão, sendo que os resultados obtidos foram realizados com base nas informações disponíveis na bolsa de valores de Taiwan.

Kim e Chun (1998), utilizaram técnicas probabilísticas e redes neurais para prever valores de índices. Onde as respostas do sistema não eram valores bipolares (i.e. comprar ou vender), mas sim, valores graduais de alta ou baixa.

Aiken e Bsat (1999), utilizaram algoritmos genéticos e redes neurais para prever as taxas de 3 meses do Tesouro Americano. Neste trabalho, eles puderam concluir que o uso destas técnicas de inteligência artificial pode prever com exatidão estas taxas.

A aplicação exclusiva de Lógica Fuzzy e indicadores técnicos voltada para a previsão da direção do mercado acionário é bastante escassa, sendo que a maior parte dos trabalhos utiliza mais de uma técnica de inteligência artificial para a realização desta tarefa ou utiliza apenas variações passadas do ativo analisado como entrada para o sistema (Huarng, Yu; 2005), (ABRAHAM, 2001), (THAMMANO, 1999), (TSAIH, HSU, LAI; 1998).

Diferentemente da proposta de Yu (2005), a qual também utiliza Lógica Fuzzy, o modelo proposto neste trabalho não retorna um valor exato, mas sim uma saída probabilística, semelhante a proposta de Kim e Chun (1998), a qual pode ser utilizada com outras informações (econômicas ou não), para auxiliar na decisão de investimento.

No Brasil, Costa Jr., Borba, Souto e Murcia (2006), propõe uma aplicação de Lógica Fuzzy com o intuito de prever a direção da mudança no nível de preço do IBOVESPA, utilizando como entrada para o modelo as oscilações nos valores do IBOVESPA para os períodos passados. A principal diferença desta proposta e o modelo que pretende-se apresentar nesta dissertação está no fato de que o ativo analisado não é utilizado diretamente como entrada do sistema, mas sim, os modelos técnicos que são calculados através dos dados históricos dos ativos. Além disto, pretende-se criar um modelo com maior robustez, dado que pode ser utilizado, além do Índice BOVESPA, em papéis, *commodities*, moedas ou qualquer ativo que possua série histórica.

Na área de finanças comportamentais, Souza, Aguiar e Sales (2008) propõe um modelo que utiliza indicadores financeiros de companhias abertas e Lógica Fuzzy para a formação de carteiras. Para as análises são utilizados dois conjuntos de ações, um do setor de petróleo e petroquímica e outro do setor têxtil. Apesar do Sistema Proteu Fuzzy poder utilizar tais indicadores em suas inferências, foram utilizados indicadores técnicos, os quais se baseiam exclusivamente nos preços históricos do ativo analisado.

O presente modelo não pretende refutar ou ser comparado com outros modelos paramétricos ou não paramétricos, mas sim, propor uma nova solução baseada nos conceitos da Lógica Fuzzy.

2.2 MERCADO DE CAPITALIS

O mercado de capitais é um sistema de distribuição de valores mobiliários, que tem o propósito de proporcionar liquidez aos títulos de emissão de empresas e viabilizar seu processo de capitalização. O mercado de capitais é constituído pelas bolsas de valores, sociedades corretoras e outras instituições financeiras autorizadas (BERTOLO, 2002).

Os principais títulos negociados no mercado de capitais são as ações, debêntures conversíveis em ações, *commercial papers*, entre outros (LIMA, 2006).

A principal fonte do financiamento dos investimentos de um país é constituída pela poupança individual e das empresas. À medida que o nível dessa poupança cresce, maiores são os recursos disponíveis a serem utilizados no desenvolvimento econômico de um país. Esse processo constitui um ciclo onde maiores níveis de poupança geram mais investimentos que por sua vez gera uma maior renda da população que novamente gera maiores níveis de poupança e assim por diante (FORTUNA, 2007).

À medida que as empresas se expandem, necessitam de mais recursos que podem ser obtidos de três maneiras: empréstimos de terceiros, reinvestimento de lucros e participação dos acionistas. As duas primeiras fontes de recursos são geralmente limitadas, e as empresas as usam para manter a sua atividade operacional. Porém é através da participação dos acionistas, os sócios da empresa, que a empresa consegue obter recursos não exigíveis, como contrapartida à participação no seu capital (FORTUNA, 2007).

Através dos novos recursos, as empresas são capazes de investir em novos equipamentos ou no desenvolvimento de pesquisas, melhorando o processo produtivo da empresa e beneficiando toda a comunidade. O investidor em ações, através deste ciclo, contribui para a produção de bens, dos quais ele também é consumidor. Como sócio da empresa ele se beneficia da distribuição de dividendos sempre que a empresa obtiver lucros (FORTUNA, 2007).

2.3 MERCADO DE AÇÕES

No Brasil, a bolsa de valores (BOVESPA) era uma associação civil, sem fins lucrativos e com funções de interesse público (BOVESPA,1999). Ao longo de sua história, a BOVESPA passou por mudanças para aperfeiçoar sua estrutura. A mais recente ocorreu em 28 de agosto de 2007, quando uma reestruturação societária resultou na criação da BOVESPA Holding, que tem como subsidiárias integrais a Bolsa de Valores de São Paulo (BVSP) - responsável pelas operações dos mercados de bolsa e de balcão organizado - e a Companhia Brasileira de Liquidação e Custódia (CBLC) que presta serviços de liquidação, compensação e custódia. A reestruturação societária consolidou o processo de desmutualização, permitindo que o acesso às negociações e demais serviços prestados pela Bolsa sejam

desvinculados da propriedade de ações. No formato anterior da BOVESPA, apenas corretoras proprietárias de títulos patrimoniais podiam negociar em Bolsa (BOVESPA, 2008).

Além de seu papel básico de oferecer um mercado para a cotação dos títulos nelas registrados, orientar e fiscalizar os serviços prestados por seus membros, facilitar a divulgação constante de informações sobre as empresas e sobre os negócios que se realizam sobre o seu controle, as bolsas de valores propiciam liquidez às aplicações de curto e longo prazo, por intermédio de um mercado contínuo, representado por seus pregões diários. É por meio das bolsas de valores que se pode viabilizar um importante objetivo do capitalismo moderno: o estímulo à poupança do grande público a ao investimento em empresas em expansão, que, diante desse apoio, poderão assegurar as condições para o seu desenvolvimento (LIMA, 2006).

Os títulos negociados na bolsa de valores fazem parte do mercado secundário. A distinção entre mercado primário e secundário é muito importante do ponto de vista econômico, já que põe em relevo a forma como se dá o fluxo de recursos para o financiamento, principalmente das empresas, e mostra através de que mecanismos esse fluxo pode ser mantido ou aumentado (FORTUNA, 2007).

É no mercado primário onde ocorre a colocação de ações ou outros valores mobiliários, provenientes de novas emissões. As empresas recorrem ao mercado primário para completar os recursos que necessitam, visando financiamento de seus projetos ou seu emprego em outras atividades produtivas (LIMA, 2006).

O mercado secundário é aonde os títulos já existentes se transferem de um proprietário para outro. O valor transacionado nesse mercado não é canalizado para a empresa (STEVEN, 2006).

Sob o ponto de vista econômico, não significa aumento ou diminuição de recursos para financiar novos projetos. A função desse mercado é fornecer liquidez aos papéis (ativos financeiros) negociados no mercado primário.

Esse mercado é, pois, tão importante quanto o primário, uma vez que sua existência é condição para o funcionamento do outro. Os ativos financeiros não encontram colocação no mercado primário se não contarem com um mercado secundário organizado capaz de dar liquidez a esses papéis (FORTUNA, 2007).

2.4 O MERCADO À VISTA

Os preços das ações são formados em pregão, movidos principalmente pelas forças de oferta e demanda de um determinado papel (LIMA, 2006). A maior oferta ou demanda por uma determinada ação, é causada principalmente pelas perspectivas futuras da empresa emissora, aí incluindo-se sua política de dividendos, prognósticos de expansão de seu mercado e dos seus lucros, influência das políticas monetárias, etc...

- **Negociação**

A realização de negócios no mercado à vista requer a intermediação de uma Sociedade Corretora que poderá executar, em pregão, a ordem de compra ou venda de seu cliente através dos operadores ou ainda autorizar a transação através do sistema eletrônico da corretora, utilizando para isso o Home Broker da Corretora.

- **Tipos de Ordem de Compra ou Venda**

Ordem a mercado é a ordem através da qual o cliente especifica à Corretora apenas a quantidade e as características da ação desejada. A execução da ordem se dará assim que a corretora receber a ordem, independentemente do preço.

Ordem Administrada é a ordem através da qual o cliente delega à corretora o momento de execução da compra ou venda da ação. O cliente deve especificar apenas a quantidade e as características da ação desejada.

Ordem Limitada é a ordem através da qual a execução só ocorrerá se o preço for igual ou melhor do que indicado pelo investidor.

- **Direitos e Proventos**

As empresas propiciam benefícios a seus acionistas sob a forma de proventos ou o direito de preferência na aquisição de ações.

Dividendo – valor representativo de parte dos lucros da empresa, que é distribuído aos acionistas, em dinheiro, por ação possuída. Por lei, um mínimo de 25% do lucro líquido do exercício deve ser distribuído entre os acionistas.

Juros sobre o Capital – por uma vantagem fiscal, algumas empresas pagam uma remuneração em dinheiro aos acionistas. Desta maneira, essa despesa é contabilizada como custo e, portanto, diminui a quantidade de imposto de renda paga pela empresa em comparação com a distribuição de dividendos.

Bonificação – uma ação nova, proveniente de aumento de capital por incorporação de reservas, que é distribuída, gratuitamente, aos acionistas, na proporção das originalmente possuídas. Eventualmente, a empresa pode optar por distribuir essas reservas, ou parte delas, em dinheiro, gerando o que se denomina bonificação em dinheiro.

Direito de Subscrição – uma preferência dada aos acionistas na compra de novas ações. O acionista poderá transferir o direito de subscrição a terceiros, por meio de venda desse direito em pregão.

2.5 MERCADOS EFICIENTES

A Hipótese dos Mercados Eficientes (sigla em inglês EMH), definida por Fama (1970), diz que os preços de qualquer mercado se ajustam rapidamente à chegada de novas informações e, portanto, os preços correntes dos ativos já refletem todas as informações disponíveis. Esse processo ocorre devido ao grande número de participantes que analisam e precificam esses ativos. Essa teoria pressupõe que exista:

- 1) Competição perfeita, ou seja, existe um número suficiente de participantes, o que implica que nenhuma ação individual pode afetar significativamente os preços.
- 2) Expectativas homogêneas e racionalidade: os traders são totalmente informados, têm acesso igualitário aos mercados e agem racionalmente.
- 3) Ausência de fricções, os ativos são homogêneos, divisíveis e não há custos transacionais.

Existem três formas de EMH, a forma fraca, a semi-forte e a forte.

A forma fraca assume que os preços dos ativos refletem todas as informações relacionadas ao mercado de capitais, como por exemplo, séries históricas de retornos não devem conter relações com séries de retornos futuras. Nesse contexto, nenhum *trading rule* ou *trading system* deve funcionar.

A forma semi-forte assume que os preços dos ativos refletem todas as informações públicas disponíveis, não só as relacionadas com o mercado de capitais, como na forma fraca.

A forma forte assume que os preços dos ativos refletem todas as informações públicas e privadas. Isto quer dizer que nenhum grupo possui acesso monopolístico às informações relevantes na formação dos preços.

2.6 FINANÇAS COMPORTAMENTAIS

O objetivo das finanças comportamentais estuda como a combinação de conceitos econômicos, sociológicos e psicológicos podem explicar os acontecimentos da economia, onde os investidores encontram dificuldades no exercício da plena racionalidade (SHLEIFER, 1999).

Uma grande parte da teoria econômica está baseada na premissa de que os mercados e as pessoas agem racionalmente e consideram de forma objetiva toda a informação disponível para a tomada de decisões. Entretanto, estudos encontraram evidências significativas que isto não ocorre todo o tempo. Estes pesquisadores observaram com frequência que investidores evitam vender ações cujos preços caíram, possivelmente para evitar a realização de que fizeram um investimento ruim. Igualmente, foi observado que investidores vendem ações cujos preços subiram, apesar de estarem abandonando um investimento absolutamente vencedor. Esse comportamento, ou seja, ficar com o investimento perdedor e vender o investimento vencedor está longe de ser racional.

Daniel Kahneman, que ganhou um prêmio Nobel de economia por seus trabalhos em *behavioral finance*, descreve e comprova que nem sempre as pessoas tomarão decisões racionais. Em uma das suas pesquisas (KAHNEMAN;TVERSKY, 1979), Kahneman e seu colega Tversky propuseram o seguinte problema. Imagine que uma doença rara apareceu em uma certa comunidade e que deverá matar 600 pessoas. Dois diferentes programas estão disponíveis para o combate à ameaça. Se o programa A for adotado, 200 pessoas serão salvas; se o programa B for adotado,

existe 33% de probabilidade de que todos serão salvos e 67% de probabilidade de que ninguém será salvo.

Que programa você escolheria? Se a maioria de nós for avessa ao risco, as pessoas racionais preferirão a certeza do Plano A de salvar 200 vidas à aposta do plano B, que tem a mesma expectativa matemática, mas envolve assumir o risco de 67% de chance de que todos morrerão. Na experiência, 72% dos indagados escolheram a resposta avessa ao risco representada pelo Programa A.

Agora, consideramos o mesmo problema com outra formulação. Se o Programa C for adotado, 400 das 600 pessoas morrerão, enquanto o Programa D oferece 33% de probabilidade de que ninguém morrerá e 67% de probabilidade de que 600 pessoas morrerão. Observe que a primeira alternativa está agora expressa em termos de 400 mortes, em vez de 200 sobreviventes, enquanto o segundo programa oferece 33% de chance de que ninguém morrerá. Kahneman e Tversky relatam que 78% dos entrevistados preferiram o risco, optando pela aposta: eles não puderam tolerar a perspectiva da perda certa de 400 vidas.

Esse comportamento, embora compreensível, é incompatível com os pressupostos de conduta racional. A resposta a uma pergunta deveria ser a mesma, independentemente da forma em que foi formulada.

2.7 ACOMPANHAMENTO DE TENDÊNCIAS

O Acompanhamento de Tendências entende que a natureza dos mercados é baseada na hipótese de que as expectativas das pessoas se ajustam lentamente e se manifestam em tendências de preços de longo prazo (MURPHY, 2003).

Preços, eventualmente, vão refletir todas as informações relevantes existentes no mercado sejam elas macroeconômicas, políticas ou outras. Inicialmente os preços podem não reagir ou ter uma reação exagerada às novas informações. Sinais de preços são freqüentemente de baixa qualidade - portanto eles necessitam ser filtrados para aumentar sua relevância. Por este motivo, a análise do comportamento dos preços e não dos fundamentos macro-econômicos do mercado é a base do processo de decisão do Sistema Proteu Fuzzy. Observa-se que os preços formam tendências complexas e difíceis de serem identificadas. Em geral, essas tendências são mais duradouras do que a maioria das pessoas consegue antever (MURPHY, 2006).

A metodologia utilizada pelo Sistema Proteu Fuzzy tem como objetivo capturar a maior parte de uma tendência – este sistema não possui a capacidade de antecipar tendências. Atua-se apenas após os preços já terem iniciado um movimento. Apesar da confirmação da existência de uma tendência poder ser analisada através de variáveis estatísticas, não temos a condição de saber quando ocorre o início ou o fim de uma tendência até ela se tornar um dado histórico. Mercados em tendência podem ter flutuações de preços que podem significar ou não mudanças fundamentais de direção, de forma que, em geral, as tendências apresentam volatilidade (MURPHY, 2003). O objetivo, portanto, é capturar o maior movimento possível dentro de uma tendência e, ao mesmo tempo, minimizar a volatilidade (ou seja, minimizar o risco) envolvida nessas operações.

2.8 ANÁLISE TÉCNICA

O termo “Análise técnica” é geralmente empregado para definir uma miríade de técnicas utilizadas para negociação de valores mobiliários. A análise técnica visa prever o comportamento do mercado baseando-se em estudos das séries históricas de preços de ativos financeiros. Um analista técnico acredita que é possível detectar padrões nos preços dos ativos através da consulta de gráficos contendo a atuação do mercado (BROCK; LeBARON, 1992).

Apesar de estudos (MALKIEL, 1981) questionarem a validade da análise técnica ou mesmo afirmarem que esta seria inútil, estudos sobre a previsibilidade de ganhos futuros através de ganhos passados (FAMA, 1970), (JENSEN, 1967), (SWEENEY, 1988), utilizando-se indicadores técnicos, sugerem que esta conclusão pode ser prematura.

Muitos dos indicadores técnicos utilizados atualmente para detectar padrões podem variar de extremamente simples a muito complexos. Neste trabalho serão utilizados 3 indicadores técnicos (Médias Móveis, MACD e RSI), os quais, além de serem de simples elaboração, são amplamente utilizados no mercado.

2.8.1 INDICADORES TÉCNICOS

A seguir, serão descritos os 3 (três) indicadores técnicos que serão utilizados como entrada do Sistema Proteu Fuzzy. A escolha destes indicadores foi realizada devido a facilidade na manipulação e efetuação dos seus cálculos e, principalmente, pelo fato de que cada um dos modelos representa um ponto de vista diferente quanto a previsão de comportamento do ativo analisado.

Assim, pretende-se simular o comportamento de um analista financeiro, o qual consegue, a partir da observação das respostas de cada um dos modelos isoladamente, tomar uma decisão de investimento com base em sua experiência.

Grosso modo, temos:

- Médias Móveis – Fornece tendências de médio/longo prazo,
- MACD – Fornece tendências de curto prazo,
- RSI – Mostra a inércia com que altas (ou baixas) estão ocorrendo;

Na figura a seguir (Figura 1), é possível observar o que foi descrito anteriormente:

Figura 1:- Representação do processo de tomada de decisão realizada por um analista financeiro (técnico)

2.8.2 MÉDIAS MÓVEIS

A média móvel (Moving Average, sigla em inglês MA) é um dos indicadores de tendência mais antigos a ser utilizado na análise técnica. Ela é um tipo de indicador denominado rastreador. Os rastreadores podem ajudar a confirmar uma tendência quando esta se encontra no início. Porém podem fornecer informações imprecisas quando o mercado está andando de lado, ou seja, sem tendência definida (MURPHY, 2003).

Este indicador é, na prática, uma média das cotações dos últimos n-dias.

Há basicamente cinco tipos de médias móveis: exponencial, simples, triangular, variável e pesada. Estas médias móveis podem ser aplicadas sobre qualquer informação do ativo, desde o volume, passando pelo preço de fechamento ou pelo preço de abertura (MURPHY, 2006).

A média móvel dos últimos n-dias é calculada da seguinte forma:

$$MA(n) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}, \text{ onde } P_i \text{ é o preço de fechamento do ativo no } i\text{-ésimo dia.}$$

Fórmula 1:- Média Móvel

Para o cálculo de uma média móvel simples de 25 dias, por exemplo, basta somar as cotações do ativo dos últimos 25 dias e dividir por 25. Para traçar o gráfico basta executar este procedimento para cada um dos dias do gráfico que queira visualizar. Obviamente, para obter a média móvel de n-dias para um determinado dia, deverá haver obrigatoriamente cotações nos n dias anteriores. E isso pode nem sempre acontecer, como no caso da entrada de um novo título na Bolsa de Valores.

Mas qual deve ser a média móvel utilizada? Essa resposta depende basicamente do tipo de peso que se pretende dar às cotações. No caso de uma média móvel simples, todas as cotações do título têm o mesmo peso ao longo do tempo. No caso da triangular, é dado mais peso às cotações que estão no meio do período de análise. No caso da exponencial é dado mais peso às cotações mais recentes. Na maioria dos casos, é utilizada a média móvel exponencial que produz melhores resultados na maior parte das situações (KIRKPATRICK; DAHLQUIST, 2006).

Outra questão pertinente no cálculo de uma média móvel é a determinação do número de dias que se deve usar no respectivo cálculo. Essa questão depende única e exclusivamente do tipo de análise pretendida.

Para efetuar análises de médio-prazo geralmente utilizam-se médias móveis de 20 a 50 dias enquanto que para análises de longo prazo utilizam-se médias móveis de 100 a 200 dias. Estes valores são valores empíricos que resultam da experiência acumulada que comprovam que estes números produzem os melhores resultados (MURPHY, 2006).

A regra de decisão utilizando-se médias moveis funciona do seguinte modo: sempre que a média móvel mais “rápida”, ou seja, a que utiliza a menor janela de dias, cortar de baixo para cima a média móvel mais “lenta”, ou seja, a que utiliza uma janela de tempo maior, temos um sinal de compra. Caso o contrário ocorra, temos um sinal de venda.

O valor da diferença entre uma média móvel rápida (e.g. 50 dias) e a média móvel mais lenta (e.g. 200 dias), fornece a magnitude ou “força” e o sentido com que a tendência está ocorrendo.

Geralmente utiliza-se alguma regra complementar, para a confirmação do sinal emitido pela média móvel. Uma dessas regras utiliza o volume de ações negociadas no dia. Caso, após o sinal de compra emitido pela média móvel, o volume crescer por três dias consecutivos, o sinal está confirmado. Outra regra utiliza as cotações máximas *intraday*. Caso, após o sinal de compra emitido pela média móvel, a última cotação do dia for a cotação máxima ou estiver próximo dela, o sinal estará confirmado (MURPHY, 2006).

No gráfico a seguir (Gráfico 1), podemos verificar um exemplo do que foi explanado anteriormente:

Gráfico 1:- Gráfico das Médias Móveis de 10 e 50 dias para o Índice BOVESPA. Os pontos de Intersecção das médias móveis indicam pontos de compra e venda.
Fonte: BOVESPA/Adaptado

Para o sistema Proteu FUZZY foram realizadas algumas modificações no processo de leitura destes sinais. Dado que os sinais emitidos pelas médias móveis são sinais pontuais, ou seja, um sinal de compra ou venda ocorre apenas no momento em que as médias móveis se cruzam, foram criadas algumas regras (ver APÊNDICE A – Adaptações nos modelos técnicos) para que, mesmo em momentos onde as médias móveis não estão se cruzando, seja possível extrair alguma informação do modelo.

2.8.3 MACD

O indicador MACD (Média Móvel Divergente/Convergente), criado por Gerald Appel (1979), também é uma técnica de identificação de tendência. O indicador é calculado como a diferença entre uma média móvel de 26 dias e outra de 12 dias. Na sua forma original, as duas linhas de tendência foram produzidas usando médias

exponenciais, ou seja, médias em que os dados mais recentes possuem mais peso do que os dados menos recentes. A média móvel exponencial (MME) é calculada da seguinte forma (MURPHY, 2003):

$$MME(n) = MME(n-1) + \left(\frac{2}{n+1} \right) * [P(n) - MME(n-1)]$$

Fórmula 2:- Média Móvel Exponencial.

Uma média móvel exponencial de 9 dias, chamada de linha de *trigger*, é sobreposta à linha de MACD a fim de indicar os pontos de compra e venda.

Uma das formas mais básica na utilização do MACD gera recomendações observando-se a distância entre a linha de MACD e a linha de *trigger*. Um sinal de compra ocorre quando a linha de MACD está acima da linha de *trigger*. Analogamente, um sinal de venda ocorre quando a linha de MACD está abaixo da linha de *trigger* (MURPHY, 2006).

No gráfico a seguir (Gráfico 2), podemos verificar um exemplo do que foi explicado anteriormente.

Gráfico 2:- Gráfico do Modelo Técnico MACD calculado para o Índice BOVESPA.

Fonte: BOVESPA/Adaptado

Assim como foi feito para as médias móveis, foram realizadas algumas modificações no processo de leitura destes sinais para que fosse possível observar diariamente informações de compra e venda (ver APÊNDICE A – Adaptações nos modelos técnicos). Lembrando que, conforme apresentado anteriormente, os sinais emitidos pelo modelo MACD são sinais pontuais, ou seja, um sinal de compra ou venda ocorre apenas no momento em que o MACD cruza a linha de *trigger*

2.8.4 RELATIVE STRENGTH INDEX (RSI)

O RSI (ou Índice de Força Relativa, traduzindo-se para o português), criado por J. Welles Wilder (1978), é um dos indicadores mais importantes na identificação de situações de mercado *overbought* (sobre-comprado) e *oversold* (sobre-vendido). O RSI está na classe dos indicadores técnicos denominados de osciladores, pelo fato de serem comumente utilizados quando o mercado não apresenta uma tendência definida. O RSI é uma medida simples que expressa a força relativa de um movimento de preços e pode variar de 0 a 100. Normalmente são anteriores ou antecipados às tendências. O RSI é calculado da seguinte maneira (MURPHY, 2003):

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + RS_i} \quad (1)$$

$$RS_{n=1} = \frac{GanhoMédio}{PerdaMédia} \quad (2)$$

$$RS_{n>1} = \frac{\left(GanhoMédio(n-1) \right) * (n-1) + GanhoAtual}{\left(PerdaMédia(n-1) \right) * (n-1) + PerdaAtual} \quad (3)$$

Fórmula 3:- Cálculo do Índice de Força Relativa.

Na tabela abaixo (Tabela 1) realizamos o cálculo do RSI para uma série de preços aleatória.

Tabela 1:- Cálculo do RSI para uma série de preços

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Data	Fechamento	Variação	Variação Positiva	Variação Negativa	Ganho Médio	Perda Média	RS	RSI
1	2/1/96	4390,1							
2	3/1/96	4681,5	291,4000	291,4000					
3	4/1/96	4684,1	2,6000	2,6000					
4	5/1/96	4694,3	10,2000	10,2000					
5	8/1/96	4741	46,7000	46,7000					
6	9/1/96	4653,9	-87,1000		-87,1000				
7	10/1/96	4622,2	-31,7000		-31,7000				
8	11/1/96	4748,7	126,5000	126,5000					
9	12/1/96	4846,6	97,9000	97,9000					
10	15/1/96	4895,4	48,8000	48,8000					
11	16/1/96	4846,8	-48,6000		-48,6000				
12	17/1/96	4836,2	-10,6000		-10,6000				
13	18/1/96	4833,9	-2,3000		-2,3000				
14	19/1/96	4909	75,1000	75,1000					
15	22/1/96	4893,8	-15,2000		-15,2000	49,9429	-13,9643	3,5765	78,1491
16	23/1/96	4985,2	91,4000	91,4000		52,9041	-12,9668	4,0800	80,3148
17	24/1/96	4945,2	-40,0000		-40,0000	49,1252	-14,8978	3,2975	76,7306
18	26/1/96	4907,7	-37,5000		-37,5000	45,6163	-16,5122	2,7626	73,4225

Primeiramente devemos separar as variações positivas das negativas, como está sendo feito nas colunas 5 e 6, e calcular as respectivas médias, como está sendo feito nas colunas 7 e 8. O primeiro RSI a ser calculado é simplesmente a equação (1) aplicada à divisão entre as médias das variações positivas e negativas (2). Para os próximos valores de RSI, devemos utilizar a equação (3), onde as médias das variações do período anterior são utilizadas de modo recursivo. Para este exemplo foi utilizado um período de 14 dias.

O RSI pode assumir valores que vão de 0 a 100. Um ativo será considerado *overbought* quando o RSI estiver “saindo” da região dos 70 pontos, e nessa situação devemos considerar a venda do ativo. Esse número pode variar. Em um mercado em alta, alguns acreditam que o nível de 80 é mais adequado para indicar se um ativo está *overbought*. Da mesma maneira, se o RSI deixar o nível dos 30 pontos o ativo é considerado *oversold* e devemos comprá-lo. Podemos novamente fazer o

ajuste para 20 em um mercado em queda. Para este trabalho utilizou-se as valores padrões de 30 e 70 para *oversold* e *overbought*, respectivamente (MURPHY, 2003). A utilização dos níveis de 30 e 70 como sendo os níveis de transição, foram recomendados pelo próprio autor do RSI, J. Welles Wilder (1978).

Quanto menor o número de dias utilizado na análise, mais volátil será o RSI e mais freqüentemente irá alcançar os extremos. Diferentes ativos nos mais diversos setores possuem períodos ótimos diferentes a serem utilizados no cálculo do RSI. Uma boa maneira para se descobrir qual é o período ideal para ser utilizado na análise é realizar uma simulação com dados históricos de compra e venda utilizando o RSI e verificar para qual período o indicador mostrou um melhor resultado.

No gráfico a seguir (Gráfico 3), podemos verificar um exemplo do que foi explicado anteriormente:

Gráfico 3:- Gráfico do Modelo RSI calculado para o Índice BOVESPA

Fonte: BOVESPA/Adaptado

Assim como para os modelos anteriores (Médias Móveis e MACD), foram realizadas algumas modificações no processo de leitura destes sinais para que fosse possível observar diariamente informações de compra e venda (ver APÊNDICE A – Adaptações nos modelos técnicos).

2.9 LÓGICA FUZZY

2.9.1 INTRODUÇÃO

A teoria de conjuntos Fuzzy (ou onjuntos nebulosos), desenvolvida por Zadeh (1965), tem sido empregada com sucesso para exprimir conhecimento impreciso e resolver problemas em muitas áreas onde o processo de modelagem convencional é difícil, ineficiente ou muito oneroso (LEMOS, 2003).

Conforme originalmente descrito por Zadeh (1965):

“Na medida em que a complexidade de um sistema aumenta, torna-se mais difícil e eventualmente impossível realizar asserções precisas sobre o seu comportamento, eventualmente chegando-se em um ponto de complexidade onde o único meio para se resolver um problema seria utilizando o método da Lógica Fuzzy o qual é naturalmente utilizado pelos humanos”

Uma das aplicações da Lógica Fuzzy está relacionada a Sistemas Financeiros. Uma tomada de decisão em sistemas financeiros supõe o tratamento de conceitos vagos, subjetivos, também baseadas em aspectos qualitativos, descritos e apresentados em linguagem natural (“palavras”) (ANDRADE, 2005).

Uma das grandes barreiras na construção de sistemas que envolvem conhecimento especialista é a dificuldade na obtenção e modelagem desse conhecimento. O especialista utiliza expressões vagas, termos aproximados e até mesmo raciocínio impreciso e incompleto para exprimir seu conhecimento (LEMOS, 2003). Com a Lógica Fuzzy, a possibilidade de descrição lingüística do modelo, ao invés de utilização das equações diferenciais, possibilita o aproveitamento do conhecimento heurístico dos operadores e facilita o desenvolvimento de soluções.

Neste trabalho propõe-se a modelagem de um sistema de tomada de decisão para compra e venda de ativos financeiros utilizando mecanismos de inferência baseados em Lógica Fuzzy. Deste modo, pretende-se obter informações de forma mais eficiente para o processo decisório.

As etapas envolvidas na criação de um sistema de controle Fuzzy, conforme sugerido por Mamdani (1977) no final dos anos 70, consiste, basicamente, em três passos:

1. Fuzzificação: descrição gráfica de uma situação
2. Determinação das regras: aplicação das regras Fuzzy
3. Defuzzificação: obtenção de uma resposta única (crisp)

2.9.2 MODELAGEM FUZZY DO CONHECIMENTO ESPECIALISTA

Buscando simular o conhecimento especialista de um analista técnico de ativos financeiros, utilizou-se 3 (três) modelos técnicos (MA, MACD e RSI – onde, conforme descritos anteriormente, cada um destes modelos detecta tendências de pontos de vista diferentes para o ativo analisado) como entrada do sistema. Portanto, para modelagem do sistema proposto, utilizou três variáveis lingüísticas (MA, MACD e RSI). Apesar da incompletude e imprecisão do conhecimento obtido foi possível modelar as variáveis envolvidas, criar a base de regras fuzzy e gerar simulações satisfatórias no Excel, mostrando que, utilizando esta técnica de inteligência artificial, foi possível obter resultados melhores do que se estivesse utilizando os modelos técnicos de forma isolada para os vários ativos analisados.

2.9.2.1 MODELAGEM DAS VARIÁVEIS LINGÜÍSTICAS

Uma vez identificadas as variáveis lingüísticas, determinou-se para cada variável seu universo de discurso, a partição do conjunto de termos e os respectivos conjuntos fuzzy.

2.9.2.2 ENTRADAS

Para a definição das entradas do sistema, realizou-se uma série de testes para verificar qual seria a melhor partição do universo de discurso ou a melhor definição para o conjunto fuzzy a ser utilizada para o sistema.

Os testes efetuados consistiram em realizar simulações para o índice bovespa no período de 1995 a 1996, onde foram realizadas apenas alterações nas partições dos universos de discurso e nas definições dos conjuntos fuzzy, de modo a obter simulações rápidas e com respostas mais eficientes, sendo que as variações dos conjuntos fuzzy consistiram na escolha entre funções triangulares e trapezoidais.

RSI - O Gráfico 4 mostra um dos conjuntos fuzzy inicialmente definido para variável lingüística **RSI**. Essa variável representa o quão grande ou pequena é a força relativa de um movimento de preços de um determinado ativo. Quanto menor o seu valor, maior é a tendência de queda deste ativo e, inversamente, quanto maior o seu valor, maior a tendência de alta.

Variável lingüística: **RSI**

Universo de discurso: 0-100

Valores lingüísticos: *Pequeno, Grande*.

Gráfico 4:- Representação inicial da variável lingüística RSI

Posteriormente, verificou-se que a magnitude das respostas dos modelos técnicos RSI assumia valores superiores a 30 e 70 [lembrando-se que, a utilização dos níveis de 30 e 70 para os níveis de transição, foram recomendados pelo próprio autor do RSI, J. Welles Wilder (1978)], e que, portanto, seria mais adequado utilizar conjuntos fuzzy que compreendessem uma faixa de entrada mais ampla, conforme apresentado no Gráfico 5:

Variável lingüística: **RSI**

Universo de discurso: 0-100

Valores lingüísticos: *Pequeno, Grande*.

Gráfico 5:- Representação da variável lingüística RSI utilizada no modelo

MACD e MA - O Gráfico 6 mostra os conjuntos fuzzy inicialmente utilizados para as variáveis lingüísticas **MACD e MA**. Estas variáveis representam o valor da diferença entre as respectivas médias móveis utilizadas em cada modelo, divididas por duas vezes o desvio padrão destas diferenças para um período de 20 dias. Quanto mais positivo o seu valor, maior será a tendência de alta deste ativo e, inversamente, quanto mais negativo o seu valor, maior a tendência de queda.

Variáveis lingüísticas: **MACD e MA**

Universo de discurso: -200 a 200

Valores lingüísticos iniciais: Muito Negativo, Negativo, Neutro, Positivo, Muito Positivo

Gráfico 6:- Representação das variáveis linguísticas inicialmente utilizadas para os modelos MACD e MA

OBS: Apenas para facilitar a leitura destes valores, normalizou-se estes resultados entre -200 e 200.

Após a realização de algumas simulações, a partição do universo de discurso, o próprio universo de discurso bem como os conjuntos fuzzy foram redefinidos, de modo a reduzir o número de partições, porém, sem comprometer o seu desempenho. Com isto, foi possível reduzir o número de regras que foram utilizadas para este modelo.

A seguir (Gráfico 7), são apresentados os conjuntos fuzzy utilizados para as variáveis linguísticas **MACD** e **MA**.

Variáveis linguísticas: **MACD** e **MA**

Universo de discurso: -100 a 100

Valores lingüísticos: Negativo, Neutro, Positivo.

Gráfico 7:- Representação das variáveis linguísticas MACD e MA

2.9.2.3 SAÍDA

STATUS - O Gráfico 8 mostra os conjuntos fuzzy da variável linguística **STATUS**. Essa variável representa as respostas que podem ser atribuídas pelo sistema ao ativo em questão.

A escolha a função triangular para os conjuntos fuzzy de saída foi feita devido a sua simplicidade de montagem.

Variável linguística: **STATUS**

Universo de discurso: 0-1

Valores linguísticos: Vender, Manter, Comprar

Gráfico 8:- Representação da variável lingüística STATUS

2.9.2.4 FUZZIFICAÇÃO

O processo de Fuzzificação é onde ocorre a transformação de entradas discretas, ou CRISP, em entradas Fuzzy, ou Nebulosas.

Tomando-se como exemplo a representação da variável lingüística RSI apresentada anteriormente (Gráfico 5), tem-se que, quando o modelo RSI indica o valor discreto de 40, que o valor “fuzzificado” do RSI é PEQUENO com grau de pertinência 0,63 e GRANDE com grau de pertinência de 0,37.

Gráfico 9:- Exemplo de fuzzificação da variável lingüística RSI

2.9.2.5 BASE DE REGRAS E IMPLICAÇÕES FUZZY

Uma vez obtidas as entradas fuzzy, o modelo deverá realizar as inferências necessárias para gerar as saídas dos conjuntos fuzzy. Esse processo consiste na aplicação de regras que simulam o conhecimento do especialista.

Inicialmente, foram utilizadas 18 (dezoito) regras, conforme apresentado na Tabela 2, no formato “Se-Então” para a montagem da base de conhecimento do Sistema Proteu Fuzzy.

Esta base de regras, que simula o conhecimento especialista e que relaciona as diversas variáveis e seus respectivos valores, é descrita a seguir:

**Se (RSI = Grande) E (MA = Positivo) E (MACD = Positivo),
Então (Resposta = Comprar)**

Tabela 2:- Tabela com as 18 (dezoito) regras inicialmente utilizadas para simular o conhecimento do analista financeiro

REGRAS	RSI	MM	MACD	RESPOSTA
REGRA 1:	GRANDE	POSITIVO	POSITIVO	COMPRAR
REGRA 2:	GRANDE	POSITIVO	NEUTRO	COMPRAR
REGRA 3:	GRANDE	POSITIVO	NEGATIVO	MANTER
REGRA 4:	GRANDE	NEUTRO	POSITIVO	COMPRAR
REGRA 5:	GRANDE	NEUTRO	NEUTRO	MANTER
REGRA 6:	GRANDE	NEUTRO	NEGATIVO	MANTER
REGRA 7:	GRANDE	NEGATIVO	POSITIVO	MANTER
REGRA 8:	GRANDE	NEGATIVO	NEUTRO	MANTER
REGRA 9:	GRANDE	NEGATIVO	NEGATIVO	VENDER
REGRA 10:	PEQUENO	POSITIVO	POSITIVO	COMPRAR
REGRA 11:	PEQUENO	POSITIVO	NEUTRO	MANTER
REGRA 12:	PEQUENO	POSITIVO	NEGATIVO	MANTER
REGRA 13:	PEQUENO	NEUTRO	POSITIVO	MANTER
REGRA 14:	PEQUENO	NEUTRO	NEUTRO	MANTER
REGRA 15:	PEQUENO	NEUTRO	NEGATIVO	VENDER
REGRA 16:	PEQUENO	NEGATIVO	POSITIVO	MANTER
REGRA 17:	PEQUENO	NEGATIVO	NEUTRO	VENDER
REGRA 18:	PEQUENO	NEGATIVO	NEGATIVO	VENDER

Porém, no decorrer da montagem do protótipo, a redução no número de regras para 10 (dez), conforme apresentado na Tabela 3, gerou resultados melhores, mostrando que, nem sempre, sistemas mais complexos são mais eficientes.

O critério utilizado para a exclusão de algumas regras foi o de retirar da base de conhecimento a maior parte das regras que fossem consideradas “fracas” ou redundantes, ou seja, foram excluídas 6 (seis) regras que não implicavam em uma decisão de compra ou venda, permanecendo-se apenas 2 (duas) regras que indicavam que, sempre que os modelos MM e MACD apresentarem valores neutros, a resposta do sistema seria de manter a posição, independentemente da resposta do modelo RSI.

Tabela 3:- Tabela com as 10 (dez) regras utilizadas para simular o conhecimento do analista financeiro

REGRAS	RSI	MM	MACD	RESPOSTA
REGRA 1:	GRANDE	POSITIVO	POSITIVO	COMPRAR
REGRA 2:	GRANDE	POSITIVO	NEUTRO	COMPRAR
REGRA 3:	GRANDE	NEUTRO	POSITIVO	COMPRAR
REGRA 4:	PEQUENO	POSITIVO	POSITIVO	COMPRAR
REGRA 5:	GRANDE	NEGATIVO	NEGATIVO	VENDER
REGRA 6:	PEQUENO	NEUTRO	NEGATIVO	VENDER
REGRA 7:	PEQUENO	NEGATIVO	NEUTRO	VENDER
REGRA 8:	PEQUENO	NEGATIVO	NEGATIVO	VENDER
REGRA 9:	GRANDE	NEUTRO	NEUTRO	MANTER
REGRA 10:	PEQUENO	NEUTRO	NEUTRO	MANTER

2.9.2.6 DEFUZZIFICAÇÃO

A etapa de defuzzificação consiste na transformação dos valores fuzzy, calculados anteriormente, em valores discretos (ou CRISP). Para isto, utilizou-se o resultado da implicação obtida com cada regra e, através do método das médias

ponderadas (HOLBERT, 2004), obteve-se um valor discreto, conforme apresentado a seguir:

$$\overline{B_k} = \frac{\sum_{i=1}^p m_i w_i}{\sum_{i=1}^p m_i}$$

Fórmula 4:- Cálculo pelo método das médias ponderadas.

onde ' m_i ' é o grau de pertinência após a implicação de Mamdani (1977) para a i -ésima REGRA, e ' w_i ' é o peso associado a cada uma das " p " REGRAS.

2.9.2.7 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para exemplificar o que foi explanado será apresentado um exemplo para todas as 10 regras descritas anteriormente.

Na etapa de fuzzificação, onde ocorre a classificação das variáveis de entrada com relação às respectivas variáveis lingüísticas, utilizou-se os seguintes valores de entrada para as variáveis modeladas:

- **RSI** = 60 é **Pequeno** com grau de pertinência 0,375 e **Grande** com grau 0,625
- **MM** = 50 é **Negativo** com grau de pertinência 0 (zero), **Neutro** com grau 0,500 e **Positivo** com grau 0,500
- **MACD** = 75 é **Negativo** com grau de pertinência 0 (zero), **Neutro** com grau 0,250 (um) e **Positivo** com grau 0,750

O método de Mamdani (1977) foi utilizado nesta simulação, porém, o método do produto de Larsen (1980) também poderia ter sido aplicado.

Portanto, aplicando-se o mínimo de Mamdani para cada uma das regras, obtemos a seguinte tabela:

Tabela 4:- Cálculo da Implicação das Regras

REGRAS	m_i	w_i
REGRA 1:	0,38	0,99
REGRA 2:	0,25	0,99
REGRA 3:	0,38	0,99
REGRA 4:	0,50	0,99
REGRA 5:	0,00	0,01
REGRA 6:	0,00	0,01
REGRA 7:	0,00	0,01
REGRA 8:	0,00	0,01
REGRA 9:	0,25	0,50
REGRA 10:	0,25	0,50

Utilizando-se o método de médias ponderadas (HOLBERT, 2004) na defuzzificação do sistema, o seguinte cálculo é realizado:

$$\overline{B_k} = \frac{\sum_{i=1}^p m_i w_i}{\sum_{i=1}^p m_i} = \frac{0,38 \times 0,99 + 0,25 \times 0,99 + \dots + 0,25 \times 0,5 + 0,25 \times 0,5}{0,38 + 0,25 + 0,38 + \dots + 0,25 + 0,25} \cong 0,87$$

onde ' m_i ' é o grau de pertinência da i-ésima REGRA e ' w_i ' é o peso associado a cada REGRA.

Um outro método que poderia ser utilizado na etapa de defuzzificação seria o do cálculo do centro de massas, o qual consiste em calcular o baricentro da figura formada pela união de todas as respostas apresentadas nas regras descritas anteriormente. Porém, devido a complexidade, do ponto de vista de implementação em uma planilha excel, este método não foi utilizado.

A seguir (Gráfico 10), pode-se observar a projeção das regras sobre as variáveis de saída descritas acima:

Gráfico 10:- Projeção das regras sobre as variáveis de saída.

No diagrama a seguir (Figura 2), é apresentado passo-a-passo, todas as etapas envolvidas, desde a entrada das séries temporais, até a obtenção da resposta defuzzificada. Apenas para simplificar o diagrama, foram utilizadas 2 (duas) das 10 (dez) regras existentes neste projeto.

Este diagrama mostra como as regras são combinadas de forma a obter os conjuntos fuzzy, os quais servirão de entrada para o processo de defuzzificação

Através do método das médias ponderadas, os conjuntos fuzzy são transformados em um valor CRISP, no formato de probabilidade.

Figura 2:- Diagrama de Inferência representando passo-a-passo todas as etapas envolvidas no Sistema de Tomada de Decisão para Compra e Venda de Ativos Financeiros utilizando Lógica Fuzzy

3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O Sistema **Proteu Fuzzy** é um sistema de tomada de decisão para compra e venda de ativos financeiros que utiliza Lógica Fuzzy e Indicadores Técnicos para simular o comportamento de um analista financeiro.

Diferentemente de um Trading System, não possui a capacidade de operar ativos, mas sim, fornecer informações com as possibilidades de alta (ou baixa) destes.

Os dados de entrada utilizados neste sistema são as séries temporais dos preços de fechamento dos ativos analisados. Sendo que, qualquer ativo que possua série histórica (e.g. ações, moedas, *commodities*) pode servir de entrada para o sistema, podendo, inclusive ser alimentado com outros tipos de dados históricos além do preço de fechamento (e.g. preços de abertura, preços médios, máximas, mínimas).

Posteriormente, estas informações são processadas e as respostas de cada um dos indicadores técnicos (MA, MACD, RSI) são calculadas e armazenadas.

No diagrama a seguir (Figura 3), pode-se observar o que foi descrito:

Figura 3:- Representação das Séries Temporais e dos Modelos Econômicos utilizados no Sistema de Tomada de Decisão para Compra e Venda de Ativos Financeiros utilizando Lógica Fuzzy

Um banco de dados armazena as séries históricas e os resultados das simulações dos modelos técnicos, fornecendo subsídios para o processo decisório. São as respostas diárias dos modelos técnicos que servem de entrada para o Sistema Especialista (Expert System).

O Sistema Especialista é a parte principal do sistema, o qual é responsável pela fuzzificação das respostas diárias dos modelos técnicos e, através das regras utilizadas para simular o conhecimento do analista financeiro, é capaz de informar ao usuário qual é a sua recomendação para o ativo em análise. Esta resposta é obtida, através do processo de defuzzificação, onde o investidor obtém uma resposta na forma de probabilidade, o qual poderá utilizar para auxiliá-lo na tomada de decisão de compra ou venda para um determinado ativo.

O diagrama a seguir (Figura 4), ilustra o que foi explanado anteriormente:

Figura 4:- Representação das etapas de Fuzzificação, Inferência das Regras e Defuzzificação do Sistema de Tomada de Decisão para Compra e Venda de Ativos Financeiros utilizando Lógica Fuzzy

O diagrama de inferência a seguir (Figura 5), é um resumo do diagrama apresentado na Figura 2, onde é apresentado um exemplo passo-a-passo de todas

as etapas envolvidas, desde a entrada das séries temporais, até a obtenção da resposta defuzzificada.

Este diagrama mostra, simultaneamente, todas as etapas envolvidas nas inferências fuzzy apresentadas anteriormente.

O processo inicia-se a partir da inserção dos dados históricos no sistema, onde, posteriormente, é possível calcular as respostas de cada um dos indicadores técnicos, os quais servirão de entrada para o Sistema Fuzzy. A partir deste ponto, inicia-se o processo de fuzzificação, inferência das regras e defuzzificação, obtendo-se, finalmente, a resposta do sistema.

Figura 5:- Diagrama de Inferência do Sistema de Tomada de Decisão

Para o usuário, as etapas envolvendo os cálculos dos indicadores técnicos e das inferências fuzzy (fuzzificação, tratamento das regras e defuzzificação) são transparentes. Sendo necessário apenas fornecer a série histórica e obter a resposta do sistema, conforme apresentado no diagrama a seguir (Figura 6).

Figura 6:- Diagrama representando troca de informações entre Usuário e Sistema

3.1 MATERIAIS

O protótipo deste sistema foi totalmente desenvolvido em planilhas Excel, pois, além de facilitar a manipulação e alteração de dados, permite um controle preciso de todas as etapas e variáveis envolvidas nos cálculos.

O esquema a seguir (Figura 7) representa a forma com que as planilhas foram modularizadas, de forma a permitir um melhor controle do processo.

Figura 7:- Representação da modularização das planilhas utilizadas na construção do sistema

O único problema encontrado decorrente do uso de planilhas como protótipo é o grande tempo demandado para a simulação de grandes bases de dados (aproximadamente 1 minuto para cada ano de simulação), sendo que, grande parte das simulações foram realizadas tomando-se como base 10 (dez) anos de dados históricos (de janeiro de 1998 a dezembro de 2007).

3.2 CALIBRAÇÃO DO SISTEMA

Como cada um dos modelos técnicos utiliza parâmetros variáveis para seus cálculos (e.g. Média Móvel de 10 dias, Média Móvel Exponencial de 26 dias), estes parâmetros podem variar de acordo com os ativos analisados (MURPHY, 2003), portanto, é necessário realizar uma pré-calibração destes modelos.

Para evitar que ocorra algum tipo de maximização de resultados, deve-se tomar o cuidado de utilizar uma base de dados anterior ao período de simulações.

Para as simulações apresentadas a seguir, foram utilizadas bases de dados de aproximadamente 2 (dois) anos anterior ao período da simulação. Para o Índice Bovespa, por exemplo, a pré-calibração ocorreu com base nos preços de fechamento dos ativos analisados para o período janeiro de 1996 a dezembro de 1997, permanecendo as variáveis inalteradas para os períodos subsequentes (janeiro de 1998 a dezembro de 2007). Para os demais ativos analisados, utilizou-se o mesmo procedimento, conforme disponibilidade de informação.

A parametrização dos modelos foi realizada através de simulações de performance para cada um dos modelos de modo isolado, variando-se as janelas de tempo utilizadas em seus cálculos [e.g. para as Médias Móveis foram testados diferentes combinações de janelas de tempo (10, 20, 50, 100, 200 dias), já para o MACD e RSI foram utilizados valores múltiplos do valor padrão para os seus cálculos (26, 12 e 9 dias) e (14 dias) respectivamente] e observando-se os ganhos obtidos.

Na tabela a seguir (Tabela 5), são apresentado todos os valores utilizados na calibração dos ativos analisados.

Tabela 5:- Valores de pré-calibração e simulações do sistema

Ativo [†]	MM	RSI	MACD
IBOVESPA	(20, 100)	(14)	(26, 12, 9)
SP500	(20, 200)	(28)	(52, 24, 18)
DAX	(50, 100)	(14)	(26, 12, 9)
UKX	(20, 100)	(14)	(52, 24, 18)
CAC	(20, 200)	(14)	(52, 12, 9)
NIKKEI	(20, 100)	(14)	(26, 12, 9)
SPTSX	(20, 100)	(14)	(26, 12, 9)
MILHO	(10, 50)	(14)	(26, 12, 9)
PETRÓLEO	(50, 200)	(14)	(26, 12, 9)
SOJA	(50, 100)	(14)	(26, 12, 9)
OURO	(20, 100)	(14)	(52, 24, 18)
DÓLAR x REAL	(10, 200)	(14)	(26, 12, 9)

Apenas após a calibração e correta parametrização dos modelos técnicos que as simulações podem ser realizadas.

Na Tabela 6, a seguir, são apresentados os períodos de quando foram realizadas as pré-calibrações e simulações do sistema para cada ativo:

Tabela 6:- Períodos de pré-calibração e simulações do sistema

Ativo	Período utilizado na calibração [‡]	Período utilizado na simulação	Fonte das informações
IBOVESPA	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg/Bovespa
SP500	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg/Yahoo!
DAX	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg
UKX	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg
CAC	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg
NIKKEI	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg
SPTSX	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg
MILHO	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg
PETRÓLEO	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg
SOJA	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg
OURO	1996 - 1997	1998 - 2008	Bloomberg
DÓLAR x REAL	1999 - 2000	2001 - 2008	Bloomberg/ Sisbacen

[†] Descrição detalhada dos ativos no ANEXO A, fonte: Bloomberg

[‡] O valor do ano apresentado na tabela, representa o primeiro dia útil daquele ano (e.g. 1996 = 2/jan/1996)

4 AVALIAÇÃO E RESULTADOS

4.1 AVALIAÇÃO DO SISTEMA

Para efetuar a avaliação do Sistema, foram criados 2 (dois) “Trading Systems” (é importante ressaltar que este não é o propósito original do Proteu Fuzzy, tal análise foi realizada apenas e então somente para a demonstração da potencialidade do sistema), onde, no primeiro, não são utilizadas regras fixas para zerar uma posição caso esteja ocorrendo prejuízo; e, no segundo, as regras de STOP/LOSS são utilizadas (ou seja, determinação de alguma métrica para finalizar a posição).

Foram analisados uma série de ativos (conforme pode ser observado na Tabela 7), como os principais índices das bolsas de valores do mundo (e.g. S&P500, NIKKEI, CAC), índice Bovespa (IBOVESPA), algumas *commodities*, além de ouro e dólar (USD x BRL – dólar americano x real).

Tabela 7:- Ativos analisados pelo sistema Proteu Fuzzy

Ativo	Código do Ativo [§]	Tipo	País
IBOVESPA	IBOV Index	Índice	Brasil
SP500	SPX Index	Índice	EUA
DAX	DAX Index	Índice	Alemanha
UKX	UKX Index	Índice	Inglaterra
CAC	CAC Index	Índice	França
NIKKEI	NKY Index	Índice	Japão
SPTSX	SPTX Index	Índice	Canadá
MILHO	C 1 Comdty	Commodity	EUA
PETRÓLEO	CL1 Comdty	Commodity	EUA
SOJA	S 1 Comdty	Commodity	EUA
OURO	GOLDS Curncy	Moeda	EUA
DÓLAR x REAL	BRL Curncy	Moeda	Brasil

§ Padrão Utilizado no Sistema Bloomberg

Foram utilizadas, conforme disponibilidade, massas de dados com os valores de fechamento dos ativos, no período de 1998 a 2007 (conforme apresentado anteriormente na Tabela 6), para verificar se as sugestões fornecidas pelo sistema foram corretas. Em outras palavras, deve-se verificar se o investidor que aplicasse o seu dinheiro conforme as decisões do sistema conseguiria obter bons resultados.

Os resultados foram comparados com o modelo padrão “Buy-and-Hold”; tal modelo consiste em simplesmente comprar determinado ativo e permanecer comprado durante todo o período de análise e é um dos modelos mais básicos para se verificar a eficiência de um sistema.

Foram realizadas também comparações com os modelos técnicos trabalhando de forma isolada, permitindo assim, verificar o quão eficiente é o modelo fuzzy em relação a cada um dos modelos técnicos.

4.1.1 CRITÉRIOS UTILIZADOS NA ANÁLISE

As respostas obtidas pelo sistema são baseadas no histórico do ativo analisado, e seus valores são apresentados diariamente na forma de possibilidades (e.g. 7/1/1998 – Possibilidade de Alta $\approx$ 70%).

Para a análise utilizou-se o seguinte critério para operar um ativo (conforme cada modelo):

1. MODELO FUZZY (SEM utilização de regras de STOP/LOSS)

- Enquanto a Resposta Fuzzy for maior que 70%, comprar (ou permanecer comprado);
- Enquanto a Resposta Fuzzy for menor que 30%, vender (ou permanecer vendido);
- Enquanto a Resposta Fuzzy estiver entre 70% e 30%, zerar (ou permanecer zerado).

2. MODELO FUZZY STOP (COM utilização de regras de STOP/LOSS)

- Se a posição do sistema estiver ZERADA e a Resposta Fuzzy for maior que 70%, então, deve-se comprar;
- Se a posição do sistema estiver ZERADA e a Resposta Fuzzy for menor que 30%, então, deve-se vender;
- Se a posição do sistema estiver COMPRADA e o Preço Atual < MAX(Preço da Posição Atual), então, deve-se zerar a posição ao valor do MAX(Preço da Posição Atual) x 1,005;
- Se a posição do sistema estiver VENDIDA e o Preço Atual > MIN(Preço da Posição Atual), então, deve-se zerar a posição ao valor do MIN(Preço da Posição Atual) x 0,995;

Onde MAX(...) e MIN(...) significa, respectivamente, o Máximo e o Mínimo Preço Alcançado pelo Ativo desde o momento em que a operação (ou trade) foi iniciada. Os multiplicadores 1,005 e 0,995 são utilizados para “garantir” que a operações fossem exercidas em uma situação real.

Não houve qualquer tipo ou tentativa de maximização de resultados para o período analisado, sendo que este critério de operação foi adotado de modo aleatório e idêntico para todos os ativos analisados.

4.2 RESULTADOS

A seguir (Gráfico 11), é apresentado o resultado da simulação para o IBOVESPA, o resultado para os demais ativos é apresentado no APÊNDICE B – Resultado das simulações para outros ativos.

Foi escolhido o índice em detrimento das próprias ações pois estas, durante períodos muito longos, geralmente, apresentam alterações (e.g. distribuição de dividendos, grupamento de ações, etc.) que afetam a cotação histórica do ativo de

modo abrupto, impedindo assim, uma correta análise de tendências. Este tipo de problema não ocorre com as cotações de índices, moedas ou ouro.

Além disto, se os resultados se mostrarem promissores para o índice, isto significa que, para grande parte dos papéis que possuam uma correlação positiva com relação a este índice, também apresentariam bons resultados se utilizados neste sistema.

Gráfico 11:- Evolução do Valor Acumulado dos Modelos do Sistema versus Valor Acumulado do mercado, no período de 2/1/1998 a 30/12/2006

Fonte: BOVESPA/Adaptado

O Gráfico 11 e o Gráfico 12 representam uma comparação entre os resultados acumulados do mercado e do sistema (SEM regras de STOP/LOSS e COM regras de STOP/LOSS), além dos indicadores técnicos MA, MACD e RSI. Ambos foram inicializados com posição inicial igual a zero em primeiro de janeiro de 1998. O ganho acumulado é mensurado na mesma unidade do mercado, ou seja, se o sistema “compra” o ativo a 60,00 pontos e “vende” a 70,00 pontos, então, seu lucro é de 10,00 pontos.

Vale ressaltar que nenhuma corretagem, ou taxa por operação é computada. Além disto, não existe qualquer tipo de remuneração no período que o sistema não opera, ou seja, não foi computado potenciais ganhos envolvendo aplicações em renda fixa ou poupança enquanto o dinheiro permaneceu parado.

Gráfico 12:- Evolução do Valor Acumulado dos Modelos do Sistema
versus Valor Acumulado do mercado e Modelos Técnicos, no período de 2/1/1998 a 30/12/2006
Fonte: BOVESPA/Adaptado

O Gráfico 13 e o Gráfico 14 representam o ganho acumulado por operação realizada durante o período analisado para os modelos FUZZY e FUZZY STOP. O ganho acumulado é mensurado na mesma unidade do mercado, conforme observado anteriormente. Sempre que o sistema “zera” sua posição, o sistema retorna a sua posição inicial, ou seja, a quantidade de ativos contidos em sua posição teórica fica igual a zero. Novamente, nenhuma corretagem, ou taxa por operação é computada. Além disto, não existe qualquer tipo de remuneração no período em que o sistema não opera.

A figura a seguir (Figura 8) facilita a leitura e o entendimento destes gráficos, pois trata-se de uma ampliação do que está ocorrendo no Gráfico 13 e no Gráfico 14.

Figura 8:- Representação do ganho acumulado por operação

Para a “Operação 1”, a qual teve duração de 3 dias, temos que, no primeiro dia, houve um ganho no valor de 2 (duas) unidades, no segundo dia de operação, o ativo permaneceu com o seu preço inalterado, ou seja, o seu ganho acumulado continuou em 2 (duas) unidades e no terceiro e último dia houve o encerramento da “Operação 1”, onde pode ser observado que o preço do ativo analisado valorizou-se em mais 2 (duas) unidades, gerando um ganho acumulado total de 4 (quatro) unidades para a “Operação 1”.

Já na “Operação 2”, a qual também teve duração de 3 dias, pode-se observar que, no primeiro e segundo dia, o ativo valorizou-se em 2 (duas) unidades por dia, o que gerou um ganho acumulado de 4 (quatro) unidades no segundo dia de operação. Porém, no último dia de operação, houve uma desvalorização do ativo de 6 (seis) unidades, o que gerou um ganho (prejuízo) acumulado no valor de -2 (menos duas) unidades envolvendo a “Operação 2”. Portanto, supondo que o preço

do ativo analisado estivesse valendo 100 (cem) no primeiro dia da “Operação 2”, no terceiro dia, este mesmo ativo estaria valendo 98 (noventa e oito).

Este tipo de gráfico é importante para mostrar o potencial de acertos (ou erros) do sistema. Quanto maior for a quantidade de operações com ganhos positivos, maiores são os momentos em que o sistema manteve-se em operações vencedoras. Em contrapartida, quanto maior o número de operações na região negativa do gráfico, maiores também foram os momentos em que o sistema permaneceu com uma posição perdedora (i.e. prejuízo)

Gráfico 13:- Evolução do Valor Acumulado por Operação do Sistema FUZZY
SEM regras de STOP/LOSS, no período de 2/1/1998 a 30/12/2006

No Gráfico 13, pode-se observar que o “Sistema FUZZY SEM regras de STOP/LOSS” permanece a maior parte do tempo em posições positivas. Porém, devido a ausência das regras de STOP/LOSS, muitas vezes todo o ganho é devolvido, ou mesmo um prejuízo pode ser computado ao invés de um lucro. Este foi o motivo da criação do “Sistema Fuzzy COM regras de STOP/LOSS”, conforme

pode ser observado no Gráfico 14, onde os ganhos, apesar de possuírem uma amplitude menor (já que suas posições são finalizadas precocemente), os prejuízos podem ser minimizados, ou mesmo evitados.

No exemplo da Figura 8, caso a “Operação 2” possuíisse uma alguma regra simples de STOP/LOSS, como por exemplo, encerrar a posição se o valor atual do papel for inferior a 10% sobre a máxima atingida nesta mesma operação, poder-se-ia computar lucro ao invés de prejuízo. Neste caso, a máxima da operação foi atingida quando o ativo havia se valorizado em 4 unidades. Assim, caso a regra de STOP/LOSS fosse utilizada, ao invés de ter sido computado um prejuízo de 2 (duas) unidades, seria computado um lucro de 3,6 unidades.

Gráfico 14:- Evolução do Valor Acumulado por Operação do Sistema FUZZY STOP
COM regras de STOP/LOSS, no período de 2/1/1998 a 30/12/2006

A tabela a seguir (Tabela 8) apresenta um resumo referente ao Gráfico 11, sendo que:

- Retorno Anual: retorno anual calculado como a soma do Lucro/Prejuízo dividido pelo valor do mercado inicial.

$$Retorno = \frac{Ganho}{P_i} \text{ ou } \frac{(P_f - P_i)}{P_i}$$

Fórmula 5:- Cálculo do retorno de um período.

onde: P_f = preço final do período

P_i = preço inicial do período

- # Trades: número de operações feitas pelo sistema naquele ano.
- Volatilidade Anualizada: desvio-padrão dos retornos diários, em base anual. O qual é calculado do seguinte modo (KOTZÉAN, 2007):

$$\rho_T = \rho\sqrt{T}$$

Fórmula 6:- Cálculo da volatilidade anualizada.

onde: ρ_T = desvio padrão anualizado (base 252)

ρ = desvio padrão diário (ou desvio padrão sobre o retorno diário dos preços de fechamento, utilizando-se um período de 252 dias)

$T = 252$ (número aproximado de dias úteis em um ano)

Tabela 8:- Resumo de desempenho descrito no Gráfico 11

ANO	Retorno Anual			# Trades			Volatilidade Anualizada		
	Mercado	Fuzzy	Fuzzy STOP	Mercado	Fuzzy	Fuzzy STOP	Mercado	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	-33,5%	44,0%	62,7%	1	23	48	56,3%	50,0%	43,9%
1999	151,9%	78,1%	99,7%	0	17	49	42,5%	39,3%	23,8%
2000	-10,7%	7,0%	17,5%	0	25	53	31,2%	25,7%	20,7%
2001	-11,0%	-19,2%	-11,2%	0	28	60	32,6%	25,2%	20,0%
2002	-17,0%	7,9%	12,8%	0	20	53	32,1%	26,0%	21,9%
2003	97,3%	84,0%	70,5%	0	14	62	23,5%	20,8%	15,5%
2004	17,8%	-10,3%	9,7%	0	26	52	27,6%	20,1%	16,9%
2005	27,7%	-7,3%	-7,0%	0	22	58	24,2%	18,8%	15,0%
2006	32,9%	31,6%	23,8%	0	15	57	23,5%	18,3%	14,9%
2007	43,6%	13,8%	37,4%	0	19	63	26,5%	22,4%	16,1%
Total	526,5%	305,4%	481,0%	1	209	555	32,0%	26,7%	20,9%

Na Tabela 9 é realizada uma comparação mais ampla, onde também são comparados os modelos técnicos isoladamente, conforme apresentado no Gráfico 12.

Tabela 9:- Desempenho detalhado descrito no Gráfico 12

IBOVESPA						
ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	-33,5%	1,6%	74,9%	61,8%	44,0%	62,7%
1999	151,9%	74,9%	35,4%	111,6%	78,1%	99,7%
2000	-10,7%	-1,0%	-27,3%	12,7%	7,0%	17,5%
2001	-11,0%	-6,8%	2,5%	13,5%	-19,2%	-11,2%
2002	-17,0%	17,0%	9,8%	18,7%	7,9%	12,8%
2003	97,3%	85,3%	7,0%	84,5%	84,0%	70,5%
2004	17,8%	0,2%	-0,3%	-11,9%	-10,3%	9,7%
2005	27,7%	15,6%	-0,9%	-1,2%	-7,3%	-7,0%
2006	32,9%	26,4%	-11,9%	14,9%	31,6%	23,8%
2007	43,6%	32,5%	-13,1%	10,2%	13,8%	37,4%
Total	526,5%	425,0%	-22,2%	359,9%	305,4%	481,0%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	16	27	16	23	48
1999	0	9	39	14	17	49
2000	0	16	42	16	25	53
2001	0	14	40	24	28	60
2002	0	13	35	16	20	53
2003	0	8	42	12	14	62
2004	0	17	39	26	26	52
2005	0	12	45	21	22	58
2006	0	10	40	20	15	57
2007	0	5	41	19	19	63
Total	1	120	390	184	209	555

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	56,3%	47,0%	48,7%	55,1%	50,0%	43,9%
1999	42,5%	39,1%	39,6%	42,5%	39,3%	23,8%
2000	31,2%	24,5%	27,3%	30,2%	25,7%	20,7%
2001	32,6%	25,3%	27,9%	31,3%	25,2%	20,0%
2002	32,1%	26,3%	28,9%	31,0%	26,0%	21,9%
2003	23,5%	19,7%	21,0%	23,2%	20,8%	15,5%
2004	27,6%	21,1%	24,0%	26,5%	20,1%	16,9%
2005	24,2%	18,3%	20,9%	23,0%	18,8%	15,0%
2006	23,5%	18,9%	20,2%	22,7%	18,3%	14,9%
2007	26,5%	24,9%	22,6%	25,5%	22,4%	16,1%
Média	32,0%	26,5%	28,1%	31,1%	26,7%	20,9%

O Gráfico 15 representa uma comparação entre o desempenho dos modelos FUZZY, FUZZY STOP e Mercado, para um investimento inicial de R\$100,00 durante o período analisado.

Gráfico 15:- Evolução do desempenho dos Modelos do Sistema versus desempenho do mercado considerando-se um investimento inicial de R\$100,00, no período de 2/1/1998 a 30/12/2006

4.3 LÓGICA FUZZY x REDES BAYESIANAS

Apesar do objetivo deste trabalho não ser o de realizar uma comparação entre as técnicas de Inteligência Artificial que já foram utilizadas neste sistema (HIRA, ITO, PEREIRA; 2004), mostra-se necessário realizar uma breve descrição dos principais alterações, benefícios e prejuízos alcançados pela substituição das Redes Bayesianas pela Lógica Fuzzy.

Uma breve explanação sobre Redes Bayesianas e os resultados alcançados com a utilização desta técnica é apresentado no APÊNDICE C – Redes Bayesianas.

Apesar dos dois modelos de tomada de decisão serem muito parecidos do ponto de vista superficial, pois utilizam as mesmas variáveis de entrada e saída, e os

resultados obtidos através das respostas dos seus modelos terem sido bastante semelhantes, o trato das informações é bem distinto.

Na Lógica Fuzzy, as entradas do sistemas são obtidas de forma direta, ou seja, o valor numérico é obtido diretamente através da consulta da resposta do modelo técnico. Já nas Redes Bayesianas, isto ocorre de maneira indireta, onde é necessário realizar um tratamento das respostas destes modelos de forma a transformá-los em uma probabilidade de acerto (ou erro) atrelado a cada modelo técnico.

Apesar do conhecimento do sistema especialista de ambas as técnicas terem sido construídas através de pesquisa realizadas junto a especialistas humanos (analistas financeiros), a forma com que este conhecimento é tratado (inferência) pelas duas técnicas é bastante distinta. Enquanto na Lógica Fuzzy este conhecimento é definido de modo simples na forma de regras (no formato Se-Então), nas Redes Bayesianas este conhecimento é realizado através de árvores contendo tabelas de probabilidades condicionais que, juntamente com as evidências, formam o conjunto de parâmetros de entrada.

As Redes Bayesianas apresentam uma vantagem em relação a Lógica Fuzzy que é a possibilidade de realizar a modelagem da base de conhecimento especialista de forma automatizada através da análise da base de dados. Quando uma Rede Bayesiana está ligada à uma base de dados ela pode ser construída de forma a se tornar adaptativa e se atualizar conforme as probabilidades estimadas a partir dos dados armazenados (HABRANT, 1999). Já na Lógica Fuzzy, isto só seria possível se fossem utilizadas outras técnicas de inteligência artificial (e.g. Redes Neurais) que poderiam servir para atualizar suas regras ao longo do tempo (ABRAHAM, 2001).

As saídas dos sistemas também são bastante diferentes, na Lógica Fuzzy, o chamado processo de defuzzificação transforma o conjunto nebuloso de saída em uma saída precisa (ou crisp), já na rede bayesiana, a resposta é dada na forma de probabilidades.

De forma geral, ambas as técnicas são de simples implementação, podendo ser construídas utilizando-se planilhas Excel. Porém, dependendo do número de probabilidades condicionais envolvidas bem como o número de ramificações de seus grafos (no caso das redes bayesianas), ou no número de regras e partições dos conjuntos fuzzy (no caso da Lógica Fuzzy), isto pode se tornar inviável. Comparando-se os dois trabalhos realizados, a complexidade da montagem da rede bayesiana mostrou-se maior que na montagem da Lógica Fuzzy. Para a rede bayesiana, foi necessário utilizar funções específicas (bibliotecas externas a planilha Excel) para a montagem do sistema. Já para a Lógica Fuzzy, foi necessária apenas a utilização de operações básicas matemáticas.

Comparando-se os resultados obtidos através da simulação do IBOVESPA para os dois sistemas (no período de janeiro/1998 a dezembro/2003**), verificou-se que, conforme apresentado na Tabela 10, a Lógica Fuzzy obteve um retorno anualizado inferior ao das redes bayesianas, porém, se comparado quanto ao número de operações (#Trades) e a volatilidade anualizada, o desempenho da Lógica Fuzzy foi superior.

** Foi utilizado este período para a comparação pois não havia informação atualizada a respeito das simulações realizadas com as redes bayesianas. Utilizando-se portanto o mesmo período da elaboração do primeiro trabalho (APÊNDICE C – Redes Bayesianas).

Tabela 10:- Resumo de desempenho: Redes Bayesiana x Lógica Fuzzy

ANO	Retorno Anual			# Trades			Volatilidade Anualizada		
	Mercado	Fuzzy	Bayes	Mercado	Fuzzy	Bayes	Mercado	Fuzzy	Bayes
1998	-33,5%	44,0%	39,5%	1	23	22	56,3%	50,0%	50,6%
1999	151,9%	78,1%	140,9%	0	17	18	42,5%	39,3%	44,7%
2000	-10,7%	7,0%	-35,8%	0	25	27	31,2%	25,7%	30,6%
2001	-11,0%	-19,2%	16,5%	0	28	34	32,6%	25,2%	31,5%
2002	-17,0%	7,9%	10,7%	0	20	23	32,1%	26,0%	30,6%
2003	97,3%	84,0%	68,7%	0	14	16	23,5%	20,8%	22,4%
Total	118,1%	182,3%	190,2%	1	127	140	36,4%	31,2%	35,1%

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema consegue gerar resultados positivos (para o caso avaliado - IBOVESPA), de forma consistente e com menor volatilidade que o mercado.

O fato de o sistema ter apresentado um desempenho em ganhos acumulados inferior (Gráfico 11), porém muito próximo ao mercado (no período considerado), não indica um fracasso do sistema, pois, como foi demonstrado, tanto no modelo que utiliza regras de “*STOP/Loss*” quanto no modelo que não utiliza tais regras, o retorno foi positivo ou maior que o mercado em quase todos os anos analisados e o risco (ou volatilidade anualizada) mostrou-se muito inferior se comparada ao mercado.

Além disto, durante os 10 (dez) anos de análise, apenas nos anos de 2001 e 2005 o modelo que utilizou regras de “*STOP/Loss*” apresentou desempenho negativo, sendo que, no ano de 2005, o modelo “*STOP/Loss*” apresentou perdas semelhantes ao mercado. Uma provável solução para este problema, seria a recalibração do sistema para os anos subsequentes, conforme sugerido por Murphy (2003), (respeitando-se o princípio de não utilizar dados futuros nesta tarefa, evitando-se assim a maximização dos resultados), e não utilizar apenas uma pré-calibração do sistema antes do início das simulações, já que as características dos ativos podem variar ao longo do tempo (MURPHY; 2003).

Apesar dos Indicadores Técnicos RSI, MA e MACD apresentarem, para alguns anos, um desempenho em ganhos absolutos superior aos modelos do Sistema Fuzzy, as perdas e o risco envolvido nessas operações mostraram-se muito maiores que nestes (Gráfico 12 e Tabela 9), portanto, a utilização desses modelos de forma isolada pode trazer grandes retornos momentâneos, porém, traz também grande risco para o investidor.

O modelos FUZZY e FUZZY STOP apresentaram um grande potencial de ganho por operação durante o período (Gráfico 13 e Gráfico 14). Onde as operações positivas apresentaram valores qualitativos e quantitativos superiores às operações negativas, ou seja, na maior parte do tempo os modelos forneceram informações corretas a respeito da tendência de curto prazo do mercado.

O ganho financeiro apresentado na simulação do modelo FUZZY STOP para um investimento inicial de R\$100,00 (Gráfico 15) é muito superior ao desempenho do mercado, apesar disto, mostra-se necessário ressaltar que o sistema não é um “Trading System” e, portanto, não deveria ser utilizado como tal. Este sistema é apenas uma ferramenta de análise e, portanto, deve ser visto como algo a apoiar o processo decisório (conjuntamente com outras ferramentas e/ou informações). Apenas, e exclusivamente, para validação e demonstração da potencialidade do sistema, considerou-o como um “Trading System”.

As simulações realizadas para alguns ativos (APÊNDICE B – Resultado das simulações para outros ativos) mostra que os modelos FUZZY e FUZZY STOP conseguem resultados equivalentes ou superiores aos modelos técnicos, porém, quando o desempenho dos modelos técnicos são ruins ou muito divergentes um do outro, os modelos FUZZY e FUZZY STOP não conseguem gerar bons resultados (isto ocorreu nas simulações realizadas para algumas *commodities*). Além disto, as simulações mostraram que o potencial de ganho por operação durante o período foi positivo para todos os ativos analisados.

A utilização da Lógica Fuzzy permitiu tratar, numericamente, expressões como: “muito positivo”, “baixo”, “grande”. Além disto, por ser de fácil aplicação, permitiu que toda a sua manipulação fosse realizada em planilhas Excel, o que

garante grande portabilidade, além de fornecer maior transparência e controle dos cálculos realizados.

5.1 CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS

A proposta apresentada neste trabalho, de criar um modelo que utiliza indicadores técnicos e Lógica Fuzzy no auxílio a tomada de decisão para compra e venda de ativos financeiros, mostrou resultados que, de acordo com as simulações apresentadas, é possível reduzir o risco e obter um melhor desempenho se comparado com o mercado ou com o desempenho dos modelos técnicos trabalhando de forma isolada.

Apesar deste sistema estar longe de alcançar um dos principais desafios que existe no mercado financeiro (o qual, de acordo com o conhecimento e tecnologia atual, é impossível), de tentar construir um sistema que consiga prever com exatidão o comportamento do mercado, foi possível demonstrar que, utilizando técnicas de inteligência artificial (neste caso, Lógica Fuzzy) associada a utilização de modelos empregados em análise técnica, é possível simular o comportamento de um analista financeiro, de forma racional, imparcial, ágil e com baixo risco, conforme proposto inicialmente.

5.2 CONTRIBUIÇÕES

A aplicação da Lógica Fuzzy para simular o comportamento humano possui vasta literatura, de acordo com Bittencourt e Osório (2002), a teoria fuzzy tem sido aplicada com sucesso em diversas áreas, destacando-se o uso em controladores fuzzy de usinas nucleares, refinarias, processos biológicos e químicos, em produtos como máquina de lavar, câmeras fotográficas, sistemas de ventilação, na área médica, ou seja, em qualquer área aonde é necessário trabalhar com incertezas.

Porém, poucos estudos foram apresentados com aplicações voltadas para o mercado financeiro, mais especificamente, na previsão do comportamento de um ativo financeiro (ações, moedas, *commodities*) com a utilização de indicadores técnicos. O modelo proposto neste trabalho apresentou uma nova forma de simulação do conhecimento especialista utilizando indicadores técnicos e Lógica Fuzzy.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

A utilização de novos modelos técnicos, ou mesmo a substituição por modelos mais eficientes poderá melhorar ainda mais os resultados obtidos neste trabalho, por exemplo, a utilização de modelos que analisam outros pontos não abordados pelas Médias Móveis, MACD ou RSI, como Osciladores Estocásticos (indicador de momento, o qual fornece informações sobre pressões de compra ou venda), Bollinger Bands e ATR (ambos medidores de volatilidade) conforme apresentado por Murphy (2006), isto permitiria uma ampliação do leque de análises realizadas sobre o ativo.

Outros trabalhos que poderiam surgir a partir deste, seria a substituição e/ou incorporação nas regras atuais, utilizadas nas inferências Fuzzy, por meta-regras ou regras-sobre-regras, as quais permitiriam criar situações onde cada modelo funcionaria de forma dependente ou condicional a fatores como crises econômicas, guerras, escândalos políticos, retorno da carteira etc.

Apesar da utilização da Lógica Fuzzy no Sistema de Tomada de Decisão para Compra e Venda de Ativos Financeiros ter cumprido com êxito os objetivos propostos neste trabalho, é possível que a contribuição desta técnica seja ainda mais relevante se for utilizada em conjunto com outras técnicas de inteligência artificial, como Redes Neurais (ABRAHAM, 2001), Algoritmos Genéticos (JACKSON,

1997), (THAMMANO, 1999) ou Redes Bayesianas. Essas técnicas poderiam auxiliar na etapa de criação das regras utilizadas na Lógica Fuzzy, permitindo assim, a montagem de regras de forma dinâmica, as quais poderiam variar ao longo do tempo. Desta forma, teríamos sistemas híbridos, onde seria possível aproveitar ao máximo os benefícios de cada técnica.

REFERÊNCIAS^{††}

ABRAHAM, A. Neuro Fuzzy Systems: State-of-the-art Modeling techniques, In Proceedings of the Sixth International Work Conference on Artificial and Natural Neural Networks, IWANN 2001.

AIKEN, M., BSAT, M. 'Forecasting Market Trends With Neural Networks.' Information System Management 16 (4), pp. 42-48. 1999.

ANDRADE, M. T. Computação "Fuzzy" – Notas de aula da disciplina de pós graduação do Departamento de Engenharia Elétrica Sistemas Digitais (341) – EPUSP – São Paulo. 2005.

APPEL, G. The Moving Average Convergence Divergence Method, Great Neck, NY: Signalert, 1979.

BERTOLO, L. A. Curso de Matemática Financeira – FAFICA - Catanduva-SP, 2002.

BITTENCOURT, J. R.; OSÓRIO - F. FuzzyF – Fuzzy Logic Framework : Uma Solução Software Livre para o Desenvolvimento, Ensino e Pesquisa de Aplicações de Inteligência Artificial Multiplataforma. 2002.

BONESIO, M.; DUDZIAK, E.; REIS, M. Diretrizes para Apresentação de Dissertações e Teses – EPUSP – 3ª Edição – 2006.

BOVESPA Introdução ao Mercado de Capitais – 38pg, São Paulo 1999.

BOVESPA Metodologia Completa do IBOVESPA 2007. Disponível em: <<http://www.bovespa.com.br>> Acesso em: 27 jan., 2008.

BROCK, W.; LAKONISHOK, J.; LEBARON, B. Simple Technical Trading Rules and the Stochastic Properties of Stock Returns, The Journal of Finance, Vol. 47, No. 5, pp. 1731-1764. 1992

COSTA, N., BORBA, J., MURCIA, F., MAIOR, C. O Índice IBOVESPA e a Lógica Fuzzy: Uma Nova Estratégia de Investimento. III Convibra. Novembro. 2006

FAMA, E. F. "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work," Journal of Finance, 25:2, 383-417. 1970.

FORTUNA, E. Mercado Financeiro – Produtos e Serviços, QUALITYMARK, Ed. 2007.

HIRA, Celio; ITO, D. H.; PEREIRA, C.; Trabalho de Formatura: Sistema de Tomada de Decisão para Compra e Venda de Ativos Financeiros, EPUSP, São Paulo, Brasil 64 p. 2004.

^{††} A ordenação da Referência Bibliográfica obedece a ordem alfabética

HOLBERT, K. E.; PANT, S. N. Fuzzy Logic in Decision Making and Signal Processing - Fulton School of Engineering. 2004. Disponível em: <<http://enpub.fulton.asu.edu/PowerZone/FuzzyLogic/index.htm>> Acesso em: 27 jan., 2008.

HUARNG, K.; YU, H. A type 2 fuzzy time series model for stock index forecasting. *Physica A*. Vol. 353, p. 445-462, 2005.

JACKSON, A. Genetic Algorithms for Use in Financial Problems, *AFIR Vol 2*, 481-503. 1997.

JENSEN, M.; BENNINGTON, G. Random walks and technical theories: Some additional evidences, *Journal of Finance* 25, 469-482. 1970.

KIM, S., CHUN, S. "Graded forecasting using an array of bipolar predictions: application of probabilistic neural networks to a stock market index." *International Journal of Forecasting*. 14, pp. 323-337. 1998.

KIRKPATRICK, C. D. DAHLQUIST, J. R. *Technical Analysis, The Complete Resource for Financial Market Technicians*. 2006.

KOTZÉAN, A. A. Introduction to Volatility and how it can be Calculated in Excel - *Financial Chaos Theory – Excel for Financial Markets*, 2007.

KUO, R., LEE, C. "Integration of Artificial Neural Networks and Fuzzy Delphi for Stock Market Forecasting." *IEEE*, June, pp. 1073-1078. 1996.

LARSEN P. M. Industrial applications of fuzzy logic control. *Int. Journal in man, machine studies*, vol. 12, num. 1, pp. 3-10, 1980.

LEMOES, M. A.. *Controle Fuzzy na Qualidade de Imagens de um Sistema de Aquisição de Imagens para Aplicação de Multas de Transito*, EPUSP – 2003.

LIMA, I. S.; LIMA, G. A.; PIMENTEL, R. C. *Curso de Mercado Financeiro*, FIECAFI, editora Atlas, 2006.

MALKIEL, B. *A Random Walk Down Wall Street*, 2 ed. (Norton, New York). 1981.

MAMDANI E. H., "Applications of Fuzzy Set Theory to Control Systems: A Survey," in *Fuzzy Automata and Decision Processes*, M. M. Gupta, G. N. Saridis and B. R. Gaines, eds., North-Holland, New York, pp. 1-13. 1977.

MURPHY, J. J. *Technical Analysis of the Financial Markets*, NYIF 2003.

MURPHY, J. J. *Stockcharts – web financial chart*. 2006. Disponível em: <http://stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school> Acesso em: 27 jan., 2008.

SHLEIFER, A. Inefficient Markets: An Introduction to Behavioral Finance, Oxford University Press. 1999.

SOUZA, L., AGUIAR, R., SALES, R. Um Modelo Fuzzy Comportamental para Análise de Sobre-reação e Sub-reação no Mercado de Ações Brasileiro. Vol 48 - Número 3 - Julho-Setembro. 2008

STEVEN, V. An Introduction To Global Financial Markets, Macmillan Press Ltd. 4th Edition. 2006.

SWEENEY, R. Some new filter rule tests: Methods and results, Journal of Financial and Quantitative Analysis 23, 285-300. 1988.

THAMMANO, A. "Neuro-fuzzy Model for Stock Market Prediction", in Dagli. (ANNIE '99) New York: ASME Press, 1049-1054. 1999.

TSAIH, R.; HSU, Y.; LAI, C. C. Forecasting S&P 500 stock index futures with a hybrid AI system. Decision Support Systems. Vol. 23, p. 161-174, 1998.

WHITE, H. Economic Prediction Using Neural Networks: The Case of IBM Daily Stock Returns, in Proceedings of the Second Annual IEEE Conference on Neural Networks. II, pp. 451-458. 1988.

WILDER, H. W. Jr., New Concepts in Technical Trading Systems, Trend Research. 1978.

YU, H. A refined fuzzy time-series for forecasting. Physica A. Vol. 346, p. 657-681, 2005.

ZADEH, L. A.; Outline of a new approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, Journal IEEE Trans. On Systems, Man, And Cybernetics, Vol. SMC-3, N°1, January 1973.

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

COPELAND T.E.; WESTON J.F. Financial Theory and Corporate Policy, Addison-Wesley, West Sussex. 1988.

FLETCHER, R. Practical methods of Optimization, 2nd ed, John Wiley, New York, 1989.

HABRANT, J. Structure learning of Bayesian Networks from Databases by Genetic Algorithms, 1999.

KOEHLER, C.; NASSAR, S. M. Modelagem de Redes Bayesianas a partir de base de dados médicas. In: SIMPÓSIO ARGENTINO DE INFORMÁTICA EM SAÚDE, 2002.

LUGER, G.; STUBBLEFIELD, W. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving (5th ed.), The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., pp. 720. 2004.

ROSS T. J. Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill, Inc, 1995.

SHAW, I. S. Controle e Modelagem Fuzzy. ED. Edgard Blucher, São Paulo. 1999.

SHIMIZU, T. Decisão nas Organizações, São Paulo, ed. Atlas, 2006

SHAPIRO, A. F. Soft Computing and Financial Engineering, Smeal College of Business, Penn State University. 2002

SPIEGEL, M. R.; Probabilidade e Estatística, Ed. McGrawHill, São Paulo. 1978.

WINSTON, W. A. Introduction to Mathematical Programming, 2nd ed. Duxbury Press, 1995.

APÊNDICE A – ADAPTAÇÕES NOS MODELOS TÉCNICOS

Pelo fato dos sinais fornecidos pelos modelos técnicos (Médias Móveis, MACD e RSI) serem sinais pontuais, ou seja, um sinal de compra ou venda só ocorre nos momentos em que médias se cruzam (e.g. Médias Móveis e MACD), ou quando uma curva sai de determinada região (e.g. RSI), foram criadas algumas regras de modo a ampliar a capacidade de fornecimento de informações de compra ou venda pelos modelos.

A seguir são apresentadas as regras utilizadas no sistema Proteu FUZZY no processo de leitura dos sinais para cada um dos modelos técnicos utilizados:

Médias Móveis (MA)

Se $MA_t(\text{rápida}) > MA_t(\text{lenta})$ então

Se $MA_t(\text{rápida}) > MA_{t-1}(\text{rápida})$ Então Comprar

Se $MA_t(\text{rápida}) < MA_{t-1}(\text{rápida})$ Então Zerar

Se $MA_t(\text{rápida}) < MA_t(\text{lenta})$ então

Se $MA_t(\text{rápida}) < MA_{t-1}(\text{rápida})$ Então Vender

Se $MA_t(\text{rápida}) > MA_{t-1}(\text{rápida})$ Então Manter

Onde:

$MA_t(\text{rápida})$ = Média Móvel de 10 a 50 dias

$MA_t(\text{lenta})$ = Média Móvel de 50 a 200 dias

MA_{t-1} = Média Móvel do período anterior

O gráfico a seguir exemplifica o que foi explanado anteriormente, onde a região verde, indica situações de compra, a região vermelha indica venda e a região amarela indica que a posição deve ser zerada:

MACD

Se $MACD_t > Trigger$ então

Se $MACD_t > MACD_{t-1}$ Então Comprar

Se $MACD_t < MACD_{t-1}$ Então Manter

Se $MACD_t < Trigger$ então

Se $MACD_t < MACD_{t-1}$ Então Comprar

Se $MACD_t > MACD_{t-1}$ Então Manter

Onde:

$MACD_t$ = Linha de MACD

$MACD_{t-1}$ = Linha de MACD do período anterior

Trigger = Média Móvel Exponencial de 9 dias sobre o MACD

O gráfico a seguir exemplifica o que foi explanado anteriormente, onde a região verde, indica situações de compra, a região vermelha indica venda e a região amarela indica que a posição deve ser zerada:

OBS: Eixo Primário: Ibovespa

Eixo Secundário: MACD e Trigger

RSI

Se $RSI_t > 50$ então Comprar

Se $RSI_t < 50$ então Vender

O gráfico a seguir exemplifica o que foi explanado anteriormente, onde a região verde, indica situações de compra e a região vermelha indica venda.

OBS: Eixo Primário: Ibovespa

Eixo Secundário: RSI

APÊNDICE B – RESULTADO DAS SIMULAÇÕES PARA OUTROS ATIVOS

Nas páginas a seguir são apresentados os resultados das simulações para os demais ativos (Índices de Bolsas de Valores de alguns países, *Commodities*, OURO e DÓLAR).

Ativo^{‡‡}	Código do Ativo^{§§}	Tipo	País
SPX	SPX Index	Índice	EUA
DAX	DAX Index	Índice	Alemanha
UKX	UKX Index	Índice	Inglaterra
CAC	CAC Index	Índice	França
NIKKEI	NKY Index	Índice	Japão
SPTSX	SPTSX Index	Índice	Canadá
MILHO	C 1 Comdty	Commodity	EUA
PETRÓLEO	CL1 Comdty	Commodity	EUA
SOJA	S 1 Comdty	Commodity	EUA
OURO	GOLDS Curncy	Moeda	EUA
DÓLAR x REAL	BRL Curncy	Moeda	Brasil

Para cada ativo será apresentado uma sequência de 4 (quatro) gráficos e uma tabela, onde o primeiro gráfico representa uma comparação entre os resultados acumulados do mercado e do sistema (SEM regras de STOP/LOSS e COM regras de STOP/LOSS), além dos indicadores técnicos MA, MACD e RSI.

No segundo gráfico, pode-se observar a comparação entre o desempenho dos modelos FUZZY, FUZZY STOP e Mercado, para um investimento inicial de R\$100,00 durante o período analisado.

O terceiro e quarto gráfico representam o ganho acumulado por operação realizada durante o período analisado para os modelos FUZZY e FUZZY STOP, respectivamente.

^{‡‡} Descrição detalhada dos ativos no ANEXO A, fonte: Bloomberg
^{§§} Padrão Utilizado no Sistema Bloomberg

Ao final de cada seqüência de gráficos é apresentado uma tabela onde é realizada uma comparação mais detalhada, apresentando-se os resultados de desempenho ano após ano para os modelos FUZZY, FUZZY STOP, modelos técnicos e mercado.

Os dados apresentados na tabela são descritos a seguir:

- Retorno Anual: retorno anual calculado como a soma do Lucro/Prejuízo dividido pelo valor do mercado do início daquele ano.
- # Trades: número de operações feitas pelo sistema naquele ano.
- Volatilidade Anualizada: desvio-padrão dos retornos diários, em base anual.

Assim como foi apresentado na análise realizada para o índice bovespa (IBOVESPA), no capítulo '4.2 RESULTADOS', a estrutura dos gráficos e tabelas utilizadas obedecem o mesmo padrão, inclusive de cores, dispensando-se, portanto, comentários adicionais quanto ao procedimento para leitura dos mesmos.

SPX

Resultado da simulação para o Índice S&P500 (SPX).

SPX

ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	26,9%	10,9%	15,3%	22,8%	7,1%	14,3%
1999	18,9%	4,9%	-27,5%	-20,2%	-11,2%	-3,4%
2000	-8,9%	-29,6%	-25,3%	-41,1%	-18,8%	-14,0%
2001	-13,0%	3,8%	14,0%	7,3%	0,0%	16,3%
2002	-24,3%	7,5%	5,3%	-1,2%	5,9%	5,7%
2003	26,2%	6,2%	-10,3%	20,2%	-0,6%	-0,1%
2004	9,4%	5,1%	2,2%	3,5%	2,4%	15,4%
2005	3,4%	-7,5%	0,5%	-7,7%	-8,0%	-6,5%
2006	13,6%	3,2%	-14,4%	8,7%	-0,1%	5,8%
2007	3,8%	-5,9%	-12,4%	-19,7%	-8,6%	4,0%
Total	52,3%	-15,9%	-75,2%	-61,4%	-49,2%	40,9%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	12	24	14	15	60
1999	0	17	31	19	20	61
2000	0	23	27	28	21	50
2001	0	16	25	12	18	48
2002	0	13	22	18	13	53
2003	0	18	31	9	18	56
2004	0	13	22	14	14	52
2005	0	15	26	19	17	56
2006	0	12	36	17	15	53
2007	0	8	25	21	18	57
Total	1	147	269	171	169	546

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	20,0%	17,5%	17,2%	19,6%	18,2%	13,7%
1999	17,6%	13,5%	15,0%	17,1%	13,9%	11,4%
2000	21,6%	15,5%	17,5%	19,5%	15,6%	11,0%
2001	20,3%	17,2%	18,4%	20,0%	17,1%	13,3%
2002	25,9%	22,8%	22,9%	25,3%	23,2%	17,9%
2003	16,4%	13,2%	14,5%	16,2%	13,9%	10,5%
2004	10,9%	8,6%	9,9%	10,7%	8,7%	6,7%
2005	10,1%	8,5%	8,5%	9,6%	8,0%	6,1%
2006	9,8%	8,5%	8,1%	9,4%	8,3%	5,6%
2007	15,9%	15,4%	13,1%	14,9%	12,4%	9,9%
Média	16,9%	14,1%	14,5%	16,2%	13,9%	10,6%

DAX

Resultado da simulação para o Índice da Bolsa de Frankfurt (DAX).

DAX						
ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	17,7%	29,7%	-17,2%	50,6%	12,9%	21,6%
1999	39,1%	17,9%	25,8%	10,2%	28,5%	28,9%
2000	-8,4%	-2,9%	-20,1%	-15,6%	3,7%	4,5%
2001	-19,0%	7,9%	10,0%	15,1%	-4,1%	10,6%
2002	-43,9%	22,4%	1,3%	9,6%	25,7%	14,9%
2003	37,1%	13,1%	-27,2%	22,8%	-30,4%	-27,0%
2004	7,3%	0,7%	7,9%	-2,9%	-4,6%	-5,2%
2005	28,3%	16,1%	-12,2%	-1,6%	15,7%	15,4%
2006	21,1%	8,4%	-5,9%	11,6%	5,1%	15,2%
2007	22,0%	21,3%	4,9%	6,1%	13,5%	21,5%
Total	89,8%	154,6%	-26,5%	107,0%	95,9%	142,1%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	4	46	15	20	58
1999	0	13	31	26	18	45
2000	0	8	39	25	14	53
2001	0	12	35	25	17	61
2002	0	5	37	26	14	64
2003	0	10	44	17	25	59
2004	0	17	37	25	18	60
2005	0	6	37	25	15	67
2006	0	6	46	18	16	49
2007	0	2	40	20	13	53
Total	1	83	392	222	170	569

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	28,7%	23,0%	25,0%	28,0%	22,1%	18,6%
1999	20,2%	15,4%	17,2%	19,2%	13,8%	11,6%
2000	23,2%	20,6%	20,6%	21,8%	19,1%	15,3%
2001	29,0%	26,2%	26,9%	28,3%	26,7%	19,9%
2002	39,9%	37,3%	35,3%	39,3%	37,0%	29,1%
2003	30,2%	26,7%	26,4%	29,7%	23,3%	17,3%
2004	15,7%	12,3%	13,4%	14,4%	12,0%	9,6%
2005	12,0%	10,9%	10,3%	11,4%	10,6%	8,3%
2006	15,4%	13,0%	13,3%	14,8%	11,3%	8,1%
2007	15,3%	14,8%	13,1%	14,5%	12,1%	9,0%
Média	22,9%	20,0%	20,2%	22,1%	18,8%	14,7%

UKX

Resultado da simulação para o Índice FTSE 100 da Bolsa de Londres (UKX).

UKX						
ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	14,5%	20,9%	-40,4%	-10,5%	15,8%	17,8%
1999	17,8%	12,1%	-12,5%	-5,1%	16,8%	28,7%
2000	-10,2%	-33,0%	-22,0%	-4,3%	-15,0%	-16,4%
2001	-15,8%	3,6%	-0,3%	-6,7%	0,9%	5,3%
2002	-25,6%	7,6%	-14,0%	-0,1%	27,8%	14,1%
2003	14,6%	5,4%	-20,8%	-2,6%	4,3%	9,8%
2004	7,8%	-3,6%	4,7%	-1,7%	0,1%	-1,1%
2005	17,0%	8,8%	3,4%	-0,2%	14,2%	6,6%
2006	10,7%	4,8%	-17,2%	-1,0%	6,7%	0,5%
2007	3,8%	0,8%	-10,2%	-3,3%	-8,5%	5,0%
Total	26,1%	18,1%	-138,9%	-39,2%	58,1%	68,6%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	7	44	10	26	79
1999	0	15	37	6	23	81
2000	0	18	44	3	31	76
2001	0	10	40	8	32	73
2002	0	15	44	6	38	75
2003	0	6	44	2	22	81
2004	0	14	34	6	21	91
2005	0	7	39	6	26	90
2006	0	5	48	5	18	84
2007	0	5	42	3	19	89
Total	1	102	416	55	256	819

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	20,9%	18,6%	18,0%	6,2%	16,2%	13,3%
1999	17,2%	15,7%	15,1%	1,7%	14,6%	11,8%
2000	18,4%	12,6%	15,7%	2,3%	13,9%	11,7%
2001	21,5%	19,8%	18,7%	9,6%	13,9%	12,0%
2002	27,4%	25,7%	23,8%	10,9%	20,2%	14,8%
2003	19,3%	17,8%	16,5%	7,6%	14,8%	11,7%
2004	10,3%	8,8%	8,9%	1,1%	9,2%	6,7%
2005	8,6%	7,0%	7,3%	2,7%	7,3%	5,9%
2006	12,4%	9,2%	10,5%	3,7%	10,2%	8,1%
2007	17,3%	16,8%	15,1%	2,9%	14,6%	11,4%
Média	17,3%	15,2%	15,0%	4,9%	13,5%	10,7%

CAC

Resultado da simulação para o Índice CAC 40 da Bolsa de Paris (CAC).

CAC						
ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	32,5%	21,2%	17,4%	48,3%	14,8%	17,0%
1999	51,1%	37,7%	-10,6%	18,1%	27,7%	28,3%
2000	-0,6%	-33,2%	-54,8%	-33,0%	-33,6%	-17,4%
2001	-21,9%	24,9%	15,5%	16,0%	15,8%	10,2%
2002	-34,6%	10,2%	-5,6%	9,6%	0,9%	17,8%
2003	16,7%	-6,3%	-30,7%	-20,1%	-20,5%	-7,8%
2004	8,5%	-10,5%	-12,4%	-11,7%	-14,9%	-9,8%
2005	24,7%	23,0%	-1,8%	15,4%	21,4%	9,8%
2006	15,9%	-0,2%	-13,0%	5,4%	-0,5%	2,1%
2007	1,7%	0,0%	-0,4%	-8,7%	-6,0%	-4,0%
Total	88,3%	80,4%	-153,8%	30,6%	-5,8%	56,9%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	8	30	16	13	60
1999	0	15	38	23	18	49
2000	0	24	42	34	29	56
2001	0	11	29	19	17	63
2002	0	13	32	22	22	48
2003	0	21	41	27	23	45
2004	0	20	35	29	20	54
2005	0	5	37	14	9	80
2006	0	15	42	17	20	60
2007	0	5	36	22	20	56
Total	1	137	362	223	191	571

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	25,8%	18,0%	22,7%	25,2%	21,8%	19,2%
1999	17,8%	14,9%	15,7%	17,5%	13,6%	11,3%
2000	22,7%	18,8%	18,6%	21,6%	19,2%	14,7%
2001	25,7%	21,2%	23,8%	25,0%	22,5%	17,4%
2002	35,2%	29,8%	30,6%	34,2%	31,4%	24,1%
2003	25,1%	20,6%	21,3%	24,0%	20,3%	14,7%
2004	13,8%	9,7%	12,3%	12,8%	9,6%	7,2%
2005	10,8%	8,9%	9,5%	10,4%	10,2%	7,8%
2006	14,7%	10,5%	13,1%	14,1%	11,8%	8,7%
2007	16,9%	15,8%	15,4%	16,3%	13,6%	10,7%
Média	20,8%	16,8%	18,3%	20,1%	17,4%	13,6%

NIKKEI

Resultado da simulação para o Índice Nikkei 225 da Bolsa de Tóquio (NKY).

NKY - NIKKEI						
ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	-9,3%	-10,8%	-20,2%	-6,6%	-0,3%	9,0%
1999	36,8%	10,0%	-25,7%	-13,9%	-0,8%	13,5%
2000	-26,3%	11,9%	15,6%	-2,8%	3,2%	16,7%
2001	-24,4%	1,2%	-13,0%	-1,7%	-3,6%	18,8%
2002	-18,6%	-5,6%	21,1%	0,6%	13,4%	36,9%
2003	24,5%	9,1%	-11,5%	-16,4%	3,7%	16,0%
2004	7,6%	-0,9%	5,0%	-1,7%	4,4%	9,0%
2005	42,3%	32,3%	-5,4%	37,4%	19,6%	19,9%
2006	5,4%	-4,4%	22,4%	0,8%	-13,6%	-1,5%
2007	-9,6%	-13,1%	-0,7%	-5,1%	2,2%	4,5%
Total	2,0%	19,5%	-5,5%	-11,2%	16,5%	118,4%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	16	44	25	20	44
1999	0	18	38	27	22	55
2000	0	14	35	24	24	64
2001	0	16	41	22	22	49
2002	0	14	32	25	23	54
2003	0	18	38	28	21	54
2004	0	15	38	25	25	51
2005	0	9	39	15	22	69
2006	0	12	29	22	25	57
2007	0	7	39	27	22	67
Total	1	139	373	240	226	564

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	26,6%	21,0%	23,4%	25,6%	21,9%	16,7%
1999	19,6%	15,1%	16,2%	18,7%	14,8%	11,7%
2000	22,0%	20,0%	20,1%	21,8%	20,2%	17,1%
2001	28,8%	23,5%	24,6%	27,3%	23,4%	18,5%
2002	25,2%	21,0%	23,4%	24,5%	20,5%	15,8%
2003	22,6%	18,6%	18,7%	22,1%	18,1%	13,7%
2004	17,6%	12,7%	14,9%	17,0%	13,1%	11,2%
2005	13,2%	11,3%	11,6%	13,0%	11,9%	10,3%
2006	19,5%	15,0%	17,9%	18,6%	15,4%	12,8%
2007	17,9%	16,7%	15,6%	17,4%	15,1%	13,3%
Média	21,3%	17,5%	18,6%	20,6%	17,5%	14,1%

SPTSX

Resultado da simulação para o Índice S&P da Borda de Toronto (SPTSX).

SPTSX						
ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	-3,9%	-1,8%	36,0%	31,6%	22,4%	17,7%
1999	30,7%	25,5%	26,6%	17,0%	15,3%	20,9%
2000	5,6%	19,0%	-44,8%	7,1%	3,2%	31,1%
2001	-13,5%	14,5%	4,0%	26,9%	10,9%	10,9%
2002	-13,8%	8,2%	1,5%	6,1%	-0,2%	2,0%
2003	24,1%	23,0%	1,1%	21,6%	10,4%	11,0%
2004	12,8%	9,4%	6,3%	7,5%	-1,8%	4,8%
2005	21,9%	19,5%	13,1%	15,6%	17,8%	14,3%
2006	14,3%	9,2%	-12,8%	5,7%	11,9%	9,7%
2007	7,1%	-1,8%	10,0%	-2,4%	-11,6%	-11,1%
Total	106,4%	148,4%	37,2%	156,8%	85,8%	125,2%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	13	29	17	18	57
1999	0	12	28	23	21	46
2000	0	12	42	19	21	53
2001	0	8	39	16	22	55
2002	0	14	42	26	25	45
2003	0	11	41	14	25	58
2004	0	8	36	21	22	51
2005	0	8	34	14	12	58
2006	0	11	46	20	18	46
2007	0	6	34	24	25	66
Total	1	103	371	194	209	535

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	19,2%	16,4%	17,0%	18,7%	17,1%	11,9%
1999	14,2%	11,5%	12,0%	14,0%	10,3%	8,2%
2000	26,0%	17,8%	22,1%	24,0%	20,5%	16,8%
2001	18,4%	13,6%	16,9%	18,0%	14,1%	11,9%
2002	16,3%	12,7%	14,3%	15,9%	13,2%	9,2%
2003	9,4%	8,6%	8,0%	9,1%	7,6%	6,3%
2004	11,1%	7,4%	10,0%	10,8%	7,8%	5,9%
2005	10,5%	8,1%	8,9%	10,1%	9,1%	6,7%
2006	12,9%	9,7%	11,1%	12,3%	9,3%	6,8%
2007	13,8%	13,2%	11,7%	13,5%	11,6%	9,1%
Média	15,2%	11,9%	13,2%	14,6%	12,1%	9,3%

MILHO (C 1)

Resultado da simulação para a commodity Milho.

C 1 - Milho

ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	-19,4%	-3,5%	-9,7%	1,5%	1,0%	-8,5%
1999	-4,2%	-17,2%	0,0%	-2,2%	-10,0%	13,4%
2000	12,6%	39,5%	27,8%	23,2%	38,6%	23,3%
2001	-8,9%	-10,9%	-13,5%	-3,1%	-11,1%	7,9%
2002	12,4%	4,3%	-11,0%	-4,5%	28,8%	32,7%
2003	2,9%	-24,4%	20,8%	1,3%	-18,0%	-9,3%
2004	-15,6%	34,4%	14,5%	7,8%	29,6%	40,6%
2005	3,1%	-2,9%	-4,3%	-6,3%	-2,0%	22,6%
2006	84,1%	28,4%	5,7%	-6,9%	66,1%	77,7%
2007	16,3%	10,6%	-1,2%	3,9%	9,5%	12,8%
Total	70,6%	52,8%	22,5%	14,9%	112,2%	180,0%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	16	38	4	32	86
1999	0	26	40	5	32	75
2000	0	14	30	9	25	80
2001	0	26	42	4	40	87
2002	0	21	39	9	33	87
2003	0	22	29	5	27	90
2004	0	17	38	9	29	84
2005	0	19	36	8	27	79
2006	0	24	37	12	20	93
2007	0	12	40	6	30	94
Total	1	197	369	71	295	855

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	21,8%	19,0%	18,2%	5,3%	17,9%	13,3%
1999	25,3%	20,3%	21,1%	7,7%	18,6%	17,6%
2000	21,5%	16,4%	18,5%	10,2%	16,3%	13,6%
2001	20,9%	17,3%	17,5%	8,1%	17,8%	15,8%
2002	22,9%	19,1%	20,0%	5,0%	21,6%	18,8%
2003	21,0%	17,3%	18,2%	9,6%	19,2%	15,7%
2004	24,7%	19,2%	22,0%	9,7%	21,0%	18,3%
2005	26,2%	20,3%	24,2%	6,6%	23,8%	19,5%
2006	29,5%	24,2%	25,8%	12,0%	26,0%	21,7%
2007	31,1%	28,3%	26,8%	9,6%	26,8%	20,9%
Média	24,5%	20,1%	21,2%	8,4%	20,9%	17,5%

SOJA (S 1)

Resultado da simulação para a commodity Soja.

S 1 - Soja

ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	-19,7%	4,7%	6,3%	-2,4%	-4,3%	6,6%
1999	-14,2%	-3,3%	2,0%	6,5%	-5,9%	1,0%
2000	7,7%	6,4%	21,8%	-0,4%	25,3%	14,9%
2001	-14,7%	10,8%	8,4%	-5,8%	-0,1%	-10,7%
2002	33,4%	-7,4%	-20,1%	0,1%	17,3%	13,7%
2003	37,4%	11,1%	15,6%	5,9%	29,3%	21,7%
2004	-29,5%	30,8%	-4,9%	22,2%	16,3%	14,5%
2005	9,1%	-17,6%	14,2%	-9,8%	-1,8%	-13,9%
2006	13,0%	-22,3%	-14,6%	7,1%	6,4%	-1,3%
2007	78,7%	59,5%	10,8%	5,3%	54,6%	31,5%
Total	80,1%	80,7%	33,5%	32,7%	122,3%	72,7%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	12	19	6	18	84
1999	0	15	23	4	22	69
2000	0	14	21	9	16	83
2001	0	10	25	8	13	92
2002	0	20	25	7	13	87
2003	0	20	28	9	17	90
2004	0	15	25	7	24	82
2005	0	20	23	10	24	87
2006	0	23	26	4	16	81
2007	0	8	23	15	16	93
Total	1	157	238	79	179	848

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	19,7%	15,6%	15,1%	5,7%	16,9%	14,3%
1999	23,4%	16,0%	21,2%	7,6%	20,6%	18,7%
2000	18,9%	13,6%	17,3%	7,8%	17,3%	13,5%
2001	19,3%	16,2%	17,2%	6,9%	18,4%	14,6%
2002	19,9%	16,3%	17,4%	7,0%	18,2%	14,8%
2003	23,0%	18,1%	19,3%	10,5%	20,9%	17,0%
2004	39,4%	34,0%	30,2%	15,5%	34,6%	29,5%
2005	27,3%	20,6%	24,0%	11,7%	22,9%	17,9%
2006	18,2%	12,4%	16,4%	5,4%	15,6%	12,5%
2007	22,5%	21,7%	19,9%	11,4%	21,7%	15,9%
Média	23,2%	18,5%	19,8%	9,0%	20,7%	16,9%

Petróleo (CL 1)

Resultado da simulação para a commodity Petróleo.

CL1 - Petróleo

ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	-33,4%	12,2%	-5,0%	-2,1%	4,4%	28,7%
1999	117,9%	72,5%	-1,4%	7,3%	127,8%	75,5%
2000	1,0%	7,0%	5,4%	-20,9%	-3,2%	0,2%
2001	-21,0%	11,7%	-36,8%	-8,1%	-21,9%	-6,6%
2002	53,7%	19,5%	28,8%	13,2%	32,2%	8,2%
2003	4,5%	-12,1%	-5,6%	-9,4%	-4,5%	-39,0%
2004	32,5%	32,3%	26,5%	-3,6%	21,8%	-3,9%
2005	38,8%	5,1%	-16,7%	-5,1%	30,9%	20,4%
2006	0,3%	-10,9%	-7,1%	3,9%	-10,7%	-14,4%
2007	58,6%	47,2%	7,1%	-1,9%	44,8%	27,9%
Total	444,2%	286,2%	-20,4%	-53,6%	316,0%	99,1%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	12	38	8	35	78
1999	0	5	39	12	12	90
2000	0	10	38	9	25	80
2001	0	13	35	3	32	74
2002	0	7	32	6	15	86
2003	0	12	36	7	27	83
2004	0	7	36	11	9	102
2005	0	7	39	6	23	87
2006	0	15	40	8	23	93
2007	0	5	38	11	10	87
Total	1	93	371	81	211	860

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	46,5%	43,4%	43,0%	21,9%	36,3%	30,9%
1999	33,7%	30,3%	30,1%	13,5%	31,5%	25,9%
2000	42,9%	33,6%	37,3%	16,3%	37,1%	30,0%
2001	42,7%	40,6%	36,3%	7,1%	31,7%	21,9%
2002	32,7%	23,9%	29,6%	10,8%	26,3%	20,9%
2003	38,5%	26,1%	34,7%	12,1%	32,8%	27,6%
2004	36,1%	32,6%	31,0%	7,7%	33,9%	24,4%
2005	31,0%	25,2%	26,8%	7,8%	26,8%	21,8%
2006	27,4%	23,4%	23,2%	9,6%	24,1%	19,6%
2007	29,6%	27,3%	25,7%	8,7%	26,4%	20,9%
Média	36,1%	30,6%	31,8%	11,6%	30,7%	24,4%

OURO (GOLDS)

Resultado da simulação para o Ouro.

GOLDS - Ouro						
ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	-0,7%	-10,3%	5,0%	-5,0%	-2,6%	5,8%
1999	0,3%	-4,7%	20,0%	14,5%	-6,3%	8,7%
2000	-5,5%	-2,8%	0,9%	-4,7%	-2,4%	-1,4%
2001	1,6%	-15,4%	-5,9%	-3,2%	-12,1%	-11,0%
2002	24,3%	9,9%	0,6%	-2,2%	16,2%	17,5%
2003	21,1%	6,7%	10,5%	0,2%	14,8%	-7,1%
2004	5,2%	-12,3%	-1,5%	-1,8%	-1,5%	2,9%
2005	18,0%	-3,6%	2,4%	2,9%	8,8%	10,6%
2006	22,8%	18,3%	32,3%	-8,0%	11,0%	23,0%
2007	32,4%	32,9%	-7,5%	-0,1%	24,4%	17,5%
Total	190,8%	66,9%	76,2%	-13,1%	95,0%	110,8%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	1	15	21	6	18	95
1999	0	16	17	7	23	75
2000	0	14	27	5	22	84
2001	0	15	28	4	22	90
2002	0	14	28	9	18	89
2003	0	11	25	6	13	97
2004	0	16	26	6	17	93
2005	0	15	20	8	17	84
2006	0	11	16	9	10	88
2007	0	7	25	7	16	92
Total	1	134	233	67	176	887

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
1998	12,5%	10,1%	11,4%	2,8%	11,6%	8,9%
1999	16,9%	9,6%	16,0%	12,9%	15,8%	13,3%
2000	14,4%	8,4%	13,1%	2,9%	13,1%	11,7%
2001	14,3%	10,9%	12,2%	6,2%	12,2%	8,2%
2002	13,0%	11,1%	10,9%	4,9%	11,9%	9,0%
2003	17,1%	13,6%	14,2%	4,9%	15,7%	12,8%
2004	15,0%	11,5%	13,1%	1,8%	12,7%	8,8%
2005	12,4%	10,4%	10,9%	4,3%	11,5%	8,9%
2006	23,8%	19,1%	20,7%	9,5%	22,7%	17,6%
2007	16,9%	16,3%	14,6%	7,0%	16,0%	10,6%
Média	15,6%	12,1%	13,7%	5,7%	14,3%	11,0%

DÓLAR

Resultado da simulação para o Dólar (Real x Dólar Americano).

BRL - DÓLAR

ANO	Retorno Anual					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
2001	18,5%	22,1%	-12,4%	-14,3%	13,2%	25,5%
2002	53,1%	40,0%	20,6%	5,2%	41,3%	30,9%
2003	-17,9%	10,0%	15,0%	3,8%	-1,4%	-0,8%
2004	-8,7%	7,5%	4,5%	-2,2%	4,4%	8,2%
2005	-12,3%	8,5%	6,1%	-4,1%	-6,3%	-4,8%
2006	-8,2%	2,7%	10,8%	-2,2%	8,2%	2,4%
2007	-16,6%	4,6%	-5,9%	-3,6%	-6,0%	1,3%
Total	-8,7%	118,5%	60,8%	-16,6%	60,9%	70,7%

ANO	# Trades					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
2001	1	15	41	19	16	84
2002	0	19	30	11	22	87
2003	0	23	31	7	34	74
2004	0	17	36	14	31	83
2005	0	14	35	11	33	75
2006	0	23	34	3	29	81
2007	0	19	42	7	28	74
Total	1	130	249	72	193	558

ANO	Volatilidade Anualizada					
	Mercado	MM	MACD	RSI	Fuzzy	Fuzzy STOP
2001	17,2%	14,2%	14,3%	9,5%	15,8%	12,7%
2002	27,2%	24,6%	24,0%	17,3%	26,5%	19,0%
2003	14,9%	11,4%	12,8%	6,6%	11,5%	9,9%
2004	10,9%	8,9%	9,5%	4,0%	10,1%	8,4%
2005	14,6%	10,2%	13,3%	4,9%	11,9%	9,7%
2006	13,2%	9,0%	12,1%	4,3%	11,8%	10,2%
2007	14,4%	10,6%	12,7%	3,7%	11,6%	8,4%
Média	16,1%	12,7%	14,1%	7,2%	14,2%	11,2%

APÊNDICE C – REDES BAYESIANAS

INTRODUÇÃO

Atualmente, os estudos em inteligência artificial podem ser divididos em duas grandes áreas: o desenvolvimento de sistemas que agem como humanos e o desenvolvimento de sistemas que agem racionalmente. Dentro do contexto dos sistemas que agem racionalmente, duas abordagens principais podem ser utilizadas: raciocínio lógico e raciocínio probabilístico.

O raciocínio lógico pondera sobre o conhecimento prévio a respeito do problema e, sobre esta base de conhecimento retira suas conclusões. Esta abordagem, apesar de poderosa, pode não ser útil em situações onde não se conhece previamente todo o escopo do problema, para estes casos, o raciocínio probabilístico surge como uma boa opção.

Um sistema que possa atuar em situações de incerteza deve ser capaz de atribuir níveis de confiabilidade para todas as sentenças em sua base de conhecimento, e ainda, estabelecer relações entre as sentenças. As Redes Bayesianas oferecem uma abordagem para o raciocínio probabilístico que engloba teoria de grafos, para o estabelecimento das relações entre sentenças e ainda, teoria de probabilidades, para a atribuição de níveis de confiabilidade.

“A principal vantagem de raciocínio probabilístico sobre raciocínio lógico é o fato de que agentes podem tomar decisões racionais mesmo quando não existe informação suficiente para se provar que uma ação funcionará”

(Charniak, Eugene).

Matematicamente, uma Rede Bayesiana é uma representação compacta de uma tabela de conjunção de probabilidades do universo do problema. Por outro lado, do ponto de vista de um especialista, as Redes Bayesianas constituem um modelo gráfico que representa de forma simples as relações de causalidade das variáveis de um sistema.

Uma Rede Bayesiana consiste do seguinte:

- Um conjunto de variáveis e um conjunto de arcos ligando as variáveis.
- Cada variável possui um conjunto limitado de estados mutuamente exclusivos.
- As variáveis e arcos formam um grafo orientado sem ciclos (DAG).
- Para cada variável A que possui como pais $B_1, \dots, B_n$, existe uma tabela $P(A|B_1, \dots, B_n)$, ou seja, a probabilidade de que ocorra a hipótese A dado as evidências $B_1, \dots, B_n$. A evidência de uma variável é uma declaração de uma certeza de seu estado.

Observa-se que, caso A não possua um pai, a tabela de probabilidades é reduzida para uma probabilidade condicional $P(A)$. Uma vez definida a topologia da rede, basta especificar as probabilidades dos nós que participam em dependências diretas, e utilizar estas para computar as demais probabilidades que se deseje.

REGRA DE BAYES

A seguir, é mostrado um breve resumo com os cálculos envolvidos na determinação da Regra de Bayes:

- I. Regra fundamental: $P(A/B) = P(A,B) / P(B)$, ou $P(A/B)*P(B) = P(A,B)$. Onde $P(A,B)$ é a probabilidade conjunta do evento $A \wedge B$.
- II. $P(A,B)=P(B,A)$, então de "I", chegamos em $P(A/B)*P(B) = P(B/A)*P(A)$, que resulta em: $P(B/A) = P(A/B)*P(B)/P(A)$, chamada Regra de Bayes.
- III. Em alguns casos podemos estar interessados em uma probabilidade segundo uma evidência e , neste caso, aplica-se: $P(A/B,e)P(B/e) = P(A,B/e)$.

Pela teoria de probabilidade, temos que, a probabilidade condicional $P(A/B) = x$, pode ser interpretada como: "Dado o evento B , a probabilidade do evento A é x ".

PARÂMETROS DE ENTRADA DA REDE BAYESIANA

A base de conhecimento de uma Rede Bayesiana são as tabelas de probabilidade, que, juntamente com as evidências, formam o conjunto de parâmetros de entrada. Para detalharmos a teoria envolvida nas Redes Bayesianas, utilizaremos um modelo simplificado, onde são utilizados apenas 2 (dois) modelos (MACD e MA). Consideremos que ambos os modelos possuem 2 estados: *Palpite de Compra* e *Palpite de Venda*.

Portanto, pela Regra Fundamental, temos:

$$\begin{aligned} P(Alta = Sim | MA, MACD) &= \frac{P(MA, MACD, Alta = Sim)}{P(MA, MACD)} = \\ &= \frac{P(MA, MACD | Alta = Sim) * P(Alta = Sim)}{P(MA, MACD)} \end{aligned} \quad (1)$$

Partindo da premissa que MA e MACD são eventos mutualmente exclusivos, ou seja, MA e MACD podem ocorrer em conjunção com Alta = Sim ou Alta = Não, temos:

$$P(MA, MACD) = P(MA, MACD, Alta = Sim) + P(MA, MACD, Alta = Não) \quad (2)$$

Substituindo-se (2) em (1), temos:

$$\begin{aligned} P(Alta = Sim | MA, MACD) &= \frac{P(MA, MACD | Alta = Sim) * P(Alta = Sim)}{P(MA, MACD, Alta = Sim) + P(MA, MACD, Alta = Não)} = \\ &= \frac{P(MA | Alta = Sim) * P(MACD | Alta = Sim) * P(Alta = Sim)}{\sum_{Alta=Sim, Não} P(MA | Alta) * P(MACD | Alta) * P(Alta)} \end{aligned}$$

Portanto, os dados de entrada da rede são $P(MA | Alta)$, $P(MACD | Alta)$ e $P(Alta)$, onde podemos, a partir daí, obter $P(Alta = Sim | MA, MACD)$.

De forma análoga, podemos determinar $P(Alta = Sim | MA, MACD, RSI)$.

APRENDIZAGEM DAS REDES BAYESIANAS

O processo de aprendizagem das Redes Bayesianas pode ser dividido em duas abordagens diferentes (KOEHLER, NASSAR; 1988) e (HABRANT; 1999):

- o aprendizado da estrutura, que consiste em encontrar a topologia da rede e, assim, determinar os relacionamentos de dependência entre as variáveis envolvidas.
- o aprendizado das probabilidades dado uma estrutura, que consiste em aprender os parâmetros da rede com a computação das probabilidades condicionais.

APRENDIZADO DA ESTRUTURA DA REDE BAYESIANA

Uma das partes críticas deste projeto é a aprendizagem da estrutura, já que a determinação dos relacionamentos entre as variáveis é fundamental para atingirmos os objetivos inicialmente propostos. Uma topologia mal construída certamente nos levaria a resultados incoerentes e/ou não conclusivos.

MÉTODO PARA CONSTRUÇÃO DE UMA REDE BAYESIANA

A construção de uma Rede Bayesiana exige que certos cuidados sejam tomados de forma a permitir que a tabela de probabilidades condicional resultante seja uma boa representação do problema.

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod P(x_i | \text{Pais}(x_i)) \text{ para } 0 \leq i \leq n, \text{ pode ser reescrita para:}$$

$$P(x_1, \dots, x_n) = P(x_n | x_{n-1}, \dots, x_1) P(x_{n-1}, \dots, x_1)$$

Este processo será repetido, reduzindo cada conjunção de probabilidades em uma probabilidade condicional e uma conjunção menor.

$$P(x_1, \dots, x_n) = P(x_n | x_{n-1}, \dots, x_1) P(x_{n-1} | x_{n-2}, \dots, x_1) \dots P(x_2 | x_1) P(x_1)$$

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod P(x_i | x_{i-1}, \dots, x_1) \text{ para } 0 \leq i \leq n$$

Comparando esta equação com $P(x_1, \dots, x_n) = \prod P(x_i | \text{Pais}(x_i))$ para $0 \leq i \leq n$, observamos que a especificação de uma tabela de conjunção de probabilidades é equivalente com a declaração geral:

$$P(x_i | x_{i-1}, \dots, x_1) = P(x_i | \text{Pais}(x_i)) \text{ para } \text{Pais}(x_i) \subseteq \{x_{i-1}, \dots, x_1\}$$

Esta equação expressa que, uma Rede Bayesiana é a representação correta de um domínio se e somente se, cada nó é condicionalmente independente de seus predecessores, dado seu pai. Portanto, para se construir uma rede cuja estrutura represente devidamente o domínio do problema, é necessário que, para todo nó da rede, esta propriedade seja atendida. Intuitivamente, os pais de um nó x_i devem conter todos os nós $x_1, \dots, x_{i-1}$ que influenciem diretamente x_i .

Então, um procedimento geral para construção de redes Bayesianas seria:

1. Escolha um conjunto de variáveis x_i que descrevam o domínio.
2. Escolha uma ordem para as variáveis.
3. Enquanto existir variáveis:
 - a. Escolha uma variável x_i e adicione um nó na rede.
 - b. Determine os nós $\text{Pais}(x_i)$ dentre os nós que já estejam na rede e que satisfaçam a equação $P(x_1, \dots, x_n) = \prod P(x_i | \text{Pais}(x_i))$ para $0 \leq i \leq n$.
 - c. Defina a tabela de probabilidades condicionais para x_i . O fato de que cada nó é conectado aos nós mais antigos na rede garante que o grafo será sempre acíclico.

APRENDIZADO DAS PROBABILIDADES

Depois de definida a topologia da rede, o próximo passo será a aprendizagem dos parâmetros, ou seja, a probabilidade associada a cada variável da rede, dados os pais e os estados da variável. Para isso será necessário um banco de dados com dados históricos reais contendo as várias combinações de estados para cada variável da rede, observadas num determinado período.

As probabilidades associadas a cada variável da rede constituirão as tabelas de probabilidade, que são a base de conhecimentos deste Sistema Especialista Probabilístico.

REDES BAYESIANAS APLICADAS AOS MODELOS ECONÔMICOS

Neste projeto, consideraremos a existência de três modelos técnicos para a previsão de ativos financeiros (Médias Móveis, MACD e RSI). Cada modelo pode fornecer as seguintes previsões para o ativo:

- Palpite de Compra: indicando uma tendência de alta no valor do ativo;
- Palpite de Venda: indicando uma tendência de queda no valor do ativo;
- Existe ainda uma terceira possibilidade, onde o sistema não indica qualquer palpite, ou seja, indica que não existe tendência de alta ou baixa.

Além disso, cada modelo possui um determinado grau de acerto (ou seja, a probabilidade de acertar sua previsão).

Como estes modelos possuem graus de acerto diferentes um do outro, há a necessidade de se ponderar cada um destes modelos de forma que o investidor obtenha as informações para tomar sua decisão.

Na prática, um analista técnico, baseado na sua experiência, realiza os cálculos e medições necessárias para cada modelo técnico e pondera (de forma subjetiva) estas informações para tomar sua decisão.

Uma das maneiras de se realizar esta tarefa computacionalmente é através da construção de Redes Bayesianas e das tabelas de probabilidades condicionais para os modelos em questão.

RESULTADOS

ESTRUTURA DOS GRÁFICOS E TABELAS DE AVALIAÇÃO

Para o ativo a seguir (IBOVESPA), são apresentados as seguintes informações:

1 – O primeiro gráfico representa uma comparação entre os resultados acumulados do mercado e do sistema. Ambos foram inicializados com posição inicial igual a zero. O “profit/loss” (P/L) é mensurado na mesma unidade do mercado, ou seja, se o sistema “compra” o ativo a 60,00 e “vende” a 70,00, seu lucro é de 10,00. Vale ressaltar que nenhuma corretagem, ou taxa por operação é computada. Além disto, não existe qualquer tipo de remuneração no período que o sistema não opera.

2- No segundo gráfico, podemos observar o “mark to market” (MTM) diário das posições do sistema. Este gráfico mostra o quanto o sistema não possui qualquer tipo de “Stop loss” (zerar posição quando se atinge determinado nível de perda), operando exclusivamente nas informações fornecidas pelo sistema.

3- A tabela apresenta um resumo referente aos dois primeiros gráficos. As definições de cada campo são descritas a seguir:

Retorno: retorno anual calculado como a soma de P/L dividido pelo nível do mercado do início daquela ano.

Trades: número de operações feitas pelo sistema naquele ano.

Volatilidade: desvio-padrão dos retornos diários, em base anual.

4- No terceiro gráfico, podemos observar uma situação hipotética no qual um investidor, operando exclusivamente pelo sistema, investe R\$100,00 no primeiro dia de 1998 e opera, de acordo com as sugestões do sistema, até o final de 2003. Este resultado é comparado com o cenário onde este mesmo investidor, aplica seus R\$100,00 no ativo em questão e permanece com a mesma posição até o final de 2003 (ou seja, compra e permanece comprado). As restrições e considerações feitas para o primeiro gráfico se aplicam a este.

IBOVESPA (IBOV)

Gráfico 1 : evolução do Valor Acumulado do Sistema versus Valor Acumulado do mercado, no período de 2/1/1998 a 2/1/2004

Gráfico 2 : evolução do MTM do Sistema, no período de 2/1/1998 a 2/1/2004

Tabela 1, resumo do desempenho descrito nos gráficos 1 e 2.

	ANO	Retorno Anual		# Trades	Volatilidade Anualizada	
		Mercado	Sistema		Mercado	Sistema
IBOV	1998	-35.26%	39.47%	22	57.36%	50.64%
	1999	151.93%	140.88%	18	46.32%	44.66%
	2000	-10.72%	-35.78%	27	32.82%	30.61%
	2001	-11.02%	16.49%	34	33.78%	31.46%
	2002	-17.01%	10.67%	23	32.75%	30.62%
	2003	97.33%	68.67%	16	24.13%	22.44%

Gráfico 3 : evolução de um investimento inicial de R\$100,00 operado-se pelo Sistema e Mercado, no período de 2/1/1998 a 2/1/2004

ANEXO A - DESCRIÇÃO DOS ATIVOS NO SISTEMA BLOOMBERG

Breve descrição dos ativos analisados de acordo com o Sistema Bloomberg
(em Inglês):

IBOV Index

The Bovespa Index is a total return index weighted by traded volume and is comprised of the most liquid stocks traded on the Sao Paulo Stock Exchange. The Bovespa Index has been divided 10 times by a factor of 10 since January 1, 1985, those dates are: 12/02/85, 04/14/89, 05/28/91, 01/26/93, 02/10/94, 08/29/88, 01/12/90, 01/21/92, 08/27/93, 03/03/97. Shares in Index displayed in Millions.

SPX Index

Standard and Poor's 500 Index is a capitalization-weighted index of 500 stocks. The index is designed to measure performance of the broad domestic economy through changes in the aggregate market value of 500 stocks representing all major industries. The index was developed with a base level of 10 for the 1941-43 base period.

DAX Index

The German Stock Index is a total return index of 30 selected German blue chip stocks traded on the Frankfurt Stock Exchange. The equities use free float shares in the index calculation. The DAX has a base value of 1,000 as of December 31, 1987. As of June 18, 1999 only XETRA equity prices are used to calculate all DAX indices.

UKX Index

The FTSE 100 Index is a capitalization-weighted index of the 100 most highly capitalized companies traded on the London Stock Exchange. The equities use an investibility weighting in the index calculation. The index was developed with a base level of 1000 as of January 3, 1984.

CAC Index

The CAC-40 Index is a narrow-based, modified capitalization-weighted index of 40 companies listed on the Paris Bourse. The index was developed with a base level of 1,000 as of December 31, 1987. As of December 1, 2003 the index has become a free float weighted index.

NKY Index

The Nikkei-225 Stock Average is a price-weighted average of 225 top-rated Japanese companies listed in the First Section of the Tokyo Stock Exchange. The Nikkei Stock Average was first published on May 16, 1949, where the average price was ¥176.21 with a divisor of 225.

SPTSX Index

The S&P/Toronto Stock Exchange Composite Index is a capitalization-weighted index designed to measure market activity of stocks listed on the TSX. The index was developed with a base level of 1000 as of 1975. The sectors available under SPTSX Index do not price intraday. This index contains investment trusts effective 12/19/05..

C 1 Comdty

No. 2 Yellow at par and substitutions at differentials established by the exchange.

CL1 Comdty

Specific domestic crudes with .42% sulfur by weight or less, not less than 37bp API gravity no more than 42bp API gravity. With the expiration of the December, 2006 contract, exchange will list 72 continuous monthly contracts.

S 1 Comdty

One grade of soybean meal only with minimum protein of 48 percent.

GOLDS Curncy

The Gold Spot price is quoted as US Dollars per Troy Ounce.

BRL Curncy

USD-BRL BRAZILIAN REAL SPOT 1 Real = 100 Centavos

The Brazilian real is the official currency of the Federative Republic of Brazil. The conventional market quotation is the number of reals per US dollar. It is an independent free-floating currency.