UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

TIAGO SANTOS COLLIRI

**Avaliação de preços de ações: proposta de um índice baseado nos
preços históricos ponderados pelo volume, por meio do uso de
modelagem computacional**

São Paulo
2013

TIAGO SANTOS COLLIRI

**Avaliação de preços de ações: proposta de um índice
baseado nos preços históricos ponderados pelo volume,
por meio do uso de modelagem computacional**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Modelagem de Sistemas Complexos Aplicada a Finanças

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fagundes Ferreira

Versão Corrigida

São Paulo
2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO
Biblioteca

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

Colliri, Tiago Santos

Avaliação de preços de ações : proposta de um índice baseado nos preços históricos ponderados pelo volume, por meio do uso de modelagem computacional / Tiago Santos Colliri ; orientador Fernando Fagundes Ferreira. – São Paulo, 2013.
51 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Sistemas Complexos, Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, em 2013.

Versão corrigida

1. Bolsa de valores. 2. Preço de ações – Modelagem computacional. 3. Finanças das empresas. 4. Sistemas dinâmicos. I. Ferreira, Fernando Fagundes, orient. II. Título.

CDD 22.ed.– 332.642

Nome: Tiago Santos Colliri

Título: Avaliação de preços de ações: proposta de um índice baseado nos preços históricos ponderados pelo volume, por meio do uso de modelagem computacional

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências.

APROVADO EM: 03/05/2013

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. FERNANDO FAGUNDES FERREIRA

INSTITUIÇÃO: EACH-USP

ASSINATURA: _____

PROF. DR. CAMILO RODRIGUES NETO

INSTITUIÇÃO: EACH-USP

ASSINATURA: _____

PROF. DR. ANDRÉ RICARDO O. FONSECA

INSTITUIÇÃO: UFABC

ASSINATURA: _____

Dedico este trabalho a todos aqueles que sentem prazer em aprender e a todos aqueles que sentem prazer em ensinar.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao programa de pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos da EACH-USP que, além de me acolher no momento em que eu decidi retornar aos estudos, também possibilitou que este retorno se desse exatamente dentro da área pela qual eu sinto mais interesse, que é a área de Sistemas Complexos.

Agradeço a todos os professores do programa com os quais eu tive contato durante as aulas, sem distinção. Acredito que todos eles contribuíram, dentro de suas especialidades, para me ajudar a compreender um pouco mais desta área tão intrigante e multifacetada.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Fernando Fagundes Ferreira, pela sua paciência ao lidar com um estreante nas atividades ligadas à pesquisa científica, como eu.

Agradeço aos colegas do curso, entre os quais gostaria de citar: Eder Lucio da Fonseca, Leandro Augusto Ferreira, Bruno Vitório dos Santos, José Emílio de Lucena Júnior, Raoni Venturieri, Michel Alexandre da Silva, André Giuliese e Adriano Axel. Nossas conversas sempre funcionaram como um fator de estímulo a mais.

Agradeço também à Vanessa, da secretaria de pós-graduação da EACH, por ter me ajudado nas questões administrativas durante o curso.

E, por fim, agradeço à CAPES pelo apoio financeiro.

Resumo

A importância de se considerar os volumes na análise dos movimentos de preços de ações pode ser considerada uma prática bastante aceita na área financeira. No entanto, quando se olha para a produção científica realizada neste campo, ainda não é possível encontrar um modelo unificado que inclua os volumes e as variações de preços para fins de análise de preços de ações. Neste trabalho é apresentado um modelo computacional que pode preencher esta lacuna, propondo um novo índice para analisar o preço das ações com base em seus históricos de preços e volumes negociados.

O objetivo do modelo é o de estimar as atuais proporções do volume total de papéis negociados no mercado de uma ação (*free float*) distribuídos de acordo com os seus respectivos preços passados de compra. Para atingir esse objetivo, foi feito uso da modelagem dinâmica financeira aplicada a dados reais da bolsa de valores de São Paulo (Bovespa) e também a dados simulados por meio de um modelo de livro de ordens (*order book*). O valor do índice varia de acordo com a diferença entre a atual porcentagem do total de papéis existentes no mercado que foram comprados no passado a um preço maior do que o preço atual da ação e a sua respectiva contrapartida, que seria a atual porcentagem de papéis existentes no mercado que foram comprados no passado a um preço menor do que o preço atual da ação.

Apesar de o modelo poder ser considerado matematicamente bastante simples, o mesmo foi capaz de melhorar significativamente a performance financeira de agentes operando com dados do mercado real e com dados simulados, o que contribui para demonstrar a sua racionalidade e a sua aplicabilidade. Baseados nos resultados obtidos, e também na lógica bastante intuitiva que está por trás deste modelo, acredita-se que o índice aqui proposto pode ser bastante útil na tarefa de ajudar os investidores a definir intervalos ideais para compra e venda de ações no mercado financeiro.

Palavras-chave: Vetores; empresas; modelagem computacional; modelos de dados; índices; simulação baseada em agentes; análise financeira, mercado de ações, preço médio ponderado pelo volume; índice de preços de ações, modelo de livro de ordens.

Áreas do conhecimento: Sistemas complexos; modelagem computacional; finanças quantitativas.

Abstract

The importance of considering the volumes to analyze stock prices movements can be considered as a well-accepted practice in the financial area. However, when we look at the scientific production in this field, we still cannot find a unified model that includes volume and price variations for stock prices assessment purposes. In this paper we present a computer model that could fulfill this gap, proposing a new index to evaluate stock prices based on their historical prices and volumes traded.

The aim of the model is to estimate the current proportions of the total volume of shares available in the market from a stock distributed according with their respective prices traded in the past. In order to do so, we made use of dynamic financial modeling and applied it to real financial data from the Sao Paulo Stock Exchange (Bovespa) and also to simulated data which was generated through an order book model. The value of our index varies based on the difference between the current proportion of shares traded in the past for a price above the current price of the stock and its respective counterpart, which would be the proportion of shares traded in the past for a price below the current price of the stock.

Besides the model can be considered mathematically very simple, it was able to improve significantly the financial performance of agents operating with real market data and with simulated data, which contributes to demonstrate its rationale and its applicability. Based on the results obtained, and also on the very intuitive logic of our model, we believe that the index proposed here can be very useful to help investors on the activity of determining ideal price ranges for buying and selling stocks in the financial market.

Keywords: Arrays; companies; computational modeling; data models; indexes; solid modeling; agent based simulation; financial analysis; stock market; volume weighted average price; stock price index; order book model.

Subject areas: Complex systems; computer modeling; quantitative finance.

Sumário

1. Introdução.....	1
1.1 Visão geral do modelo.....	1
2. Descrição do modelo.....	7
2.1 Dados de entrada e dados de saída	7
2.2 Processamento	8
3. Testes realizados com dados reais.....	12
3.1 Metodologia de testes.....	12
3.1.1 Breve introdução ao uso de modelagem baseada em agentes	12
3.1.2 Descrição dos agentes gerados e da sua dinâmica	13
3.2 Dados reais utilizados	15
3.3 Apresentação e discussão dos resultados obtidos.....	15
4. Testes realizados com dados simulados com base em um modelo de livro de ordens	22
4.1 Descrição do modelo de livro de ordens	22
4.2 Implementação do modelo.....	23
4.2.1 Parâmetros iniciais.....	23
4.2.2 Dinâmica do modelo.....	25
4.3 Apresentação e discussão dos resultados obtidos.....	28
5. Conclusões e perspectivas futuras	37
Referências bibliográficas.....	39
Apêndice A – Tabelas com os <i>free floats</i> utilizados nos testes com dados reais.....	41
Apêndice B – Tabelas com resultados obtidos por meio do modelo de livro de ordens .	42

Capítulo 1

Introdução

A correlação entre o volume e as variações de preços de ações foi primeiramente sugerida por Osborne (1959), e posteriormente desenvolvida por Clark (1973), Tauchen e Pitts (1983), e Harris (1983, 1984, 1986), que apresentaram evidências desta correlação por meio da análise de séries de dados da bolsa de valores de Nova Iorque (*NYSE*) e de contratos futuros de algodão e de títulos do tesouro. Godfrey, Granger e Morgenstein (1964) também apresentaram descobertas acerca da existência de uma correlação positiva entre os volumes diários e as variações diárias de preços. E estudos empíricos realizados por Yin (1966) e Crouch (1970), com dados agregados do mercado de ações, também contribuíram para apoiar a correlação entre variações de preços e volumes negociados. Desde então, vários outros trabalhos contribuíram para reforçar este conceito, como foi apontado por Karpoff (1987) em sua pesquisa bastante abrangente. No entanto, apesar dos diversos estudos existentes nesta área, ainda não é possível encontrar um modelo de avaliação de preços de ações que consiga agregar estas duas variáveis – volumes negociados e variações de preços – para fins de análise prática no mercado financeiro.

Empiricamente falando, poderia-se enunciar que o preço ideal para se comprar uma ação no mercado seria aquele preço considerado o menor possível entre os preços pagos por todos os atuais investidores desta mesma ação, ou seja, por todos aqueles que compraram esta ação no passado e que ainda possuem estes papéis no dia atual. Raciocinando de uma forma gráfica, pode-se dizer que, caso fosse possível colocar todos os preços pagos no passado pelos atuais investidores de uma ação em um eixo x, então o preço atual desta ação seria considerado mais atrativo à medida que a sua posição está mais à esquerda dos outros preços no eixo x. Tal gráfico já poderia ser de alguma valia para o investidor que deseja avaliar o preço atual desta ação. Porém, como poderia ser possível se identificar quais foram os preços pagos no passado por todos os atuais investidores de uma ação? Poderia se pegar todo o histórico de preços desta ação e colocá-lo no eixo x. Mas como distinguir, entre todos os preços que constam no histórico da ação, somente aqueles preços que foram exercidos pelos atuais investidores da ação, ou seja, pelos investidores que não venderam os seus papéis posteriormente, e que permanecem comprados até hoje? E, indo um pouco mais além, qual seria a quantidade total de papéis que estes investidores possuiriam hoje, de acordo com cada preço de compra que foi exercido no passado? Estas duas perguntas, a um primeiro momento de difíceis respostas, serviram de base à construção do modelo atual.

1.1 Visão geral do modelo

Para explicar o funcionamento geral do modelo foi optado por fazê-lo de uma forma bastante prática e gráfica, com o intuito de, assim, facilitar o seu entendimento. Para tanto,

vamos supor, inicialmente, que uma empresa acabou de abrir o seu capital na bolsa de valores, oferecendo em seu *IPO* (*initial public offering*) um total de 100 ações (ou papéis) a um preço de R\$ 8,00 por ação. E que todos estes papéis tenham sido vendidos no momento da oferta inicial. Neste caso, nós teríamos então, neste momento, 100% dos papéis desta empresa comprados a um mesmo preço de R\$ 8,00 cada (gráfico 1.1). Estas informações, a respeito da quantidade total de ações que foram emitidas por uma empresa na abertura de seu capital e a qual preço, podem ser obtidas nas páginas das empresas disponibilizadas na internet, geralmente em uma seção denominada “Relações com Investidores”. Ou também podem ser obtidas na página da Bovespa na internet.

Gráfico 1.1 – Dia 0: 100% das ações da empresa estão compradas a R\$ 8,00

Continuando com o mesmo caso, vamos agora supor que, no primeiro dia de negociações na bolsa, a ação desta empresa apresente um volume total de 10 ações que foram negociadas a um preço médio de R\$ 8,10. Isto significa que, neste dia, 10% das ações (10 ações de um total de 100 ações) foram vendidas (e, conseqüentemente, também compradas) ao preço médio de R\$ 8,10. A atualização de nosso gráfico, no tempo $t+1$, será então feita da seguinte forma: a coluna inicial com 100% de ações compradas a R\$ 8,00 é subtraída de 10% (que é o volume do dia posterior) e replicada na sua mesma localização no eixo x, com altura igual a 90%. E é criada uma nova coluna, também no tempo $t+1$, com altura igual a 10% (simbolizando as ações que foram compradas neste dia) e cuja localização no eixo x é igual

ao preço médio de R\$ 8,10 (gráfico 1.2). Com este procedimento, a soma total da altura das colunas, em cada um dos tempos t , continua sendo igual a 100%.

Gráfico 1.2 – Dia 1: 90% das ações estão compradas a R\$ 8,00 e 10% estão compradas a um preço médio de R\$ 8,10

Vamos agora supor que, no segundo dia de negociações na bolsa, esta ação apresente um volume total de 20 ações negociadas a um preço médio de R\$ 7,90. Neste momento, sabe-se então que 20 ações foram compradas, no tempo $t+2$, a um preço médio de R\$ 7,90. Porém, como saber qual foi o preço médio pago pelos investidores que venderam as suas ações a fim de que estas novas operações de compra pudessem ser realizadas no tempo $t+2$? Esta informação é necessária para que se possa definir qual (ou quais) das colunas já existentes será(ão) subtraída(s) para que o volume total representado pela soma das alturas das colunas no tempo $t+2$ continue sendo igual a 100%. Os dados disponibilizados no mercado financeiro real informam o montante total de volumes que foram negociados no dia, juntamente com o intervalo de variação de preços que foram exercidos naquele dia. Com isso, é possível se saber quantas ações foram vendidas (e, consequentemente, também compradas) naquele dia e a qual preço médio de compra. Mas não é possível se saber qual foi o preço médio de compra que foi exercido no passado pelos investidores que agora estão vendendo as suas ações. Para se resolver esta questão, foi feita a opção de se definir uma distribuição de ordens de venda padrão, baseada nos preços passados de compra, que será utilizada ao longo de todo o período abrangido pela modelagem. Foram realizados vários

testes com diferentes tipos de distribuição para as ordens de venda de acordo com os seus respectivos preços passados de compra. Dentre os testes realizados, pode-se citar um tipo de distribuição onde os novos volumes são distribuídos de uma forma igualitária, em termos de valor, entre os volumes já existentes, e também uma distribuição de Pareto, onde 20% dos volumes existentes mais recentes respondem por 80% dos novos volumes enquanto os 80% restantes dos volumes existentes respondem pelos outros 20% dos novos volumes. Por fim, acabou-se por se definir como a distribuição padrão a ser utilizada na modelagem um tipo de distribuição que fosse proporcional à altura das colunas (ou volumes) já existentes. Desta forma, o volume de 90% do nosso gráfico responderá (será subtraído) por 90% do volume total de 20% negociado no dia posterior, enquanto que o volume de 10% responderá por 10% dos 20% que foram negociados no dia posterior. Traduzindo isso em números, nós teremos: $0,9 \times 0,2 = 0,18$ (valor a ser subtraído dos 90%) e $0,1 \times 0,2 = 0,02$ (valor a ser subtraído dos 10%) (gráfico 1.3). Este tipo de distribuição proporcional, além de ser mais simples do que as que foram anteriormente mencionadas (e também mais intuitiva, na medida em que os volumes maiores de compra são responsáveis pelos volumes maiores de venda) foi capaz de fornecer melhores resultados nos diversos testes que foram realizados com o modelo.

Gráfico 1.3 – Dia 2: 20% das ações estão compradas a R\$ 7,90, 72% das ações estão compradas a R\$ 8,00 e 8% estão compradas a R\$ 8,10

As próximas atualizações de volumes do modelo continuarão seguindo esta mesma lógica e, ao final do último dia constante no período analisado, tem-se então aqueles que seriam os

últimos volumes estimados restantes e também os seus respectivos preços passados de compra. Ao longo do processo de modelagem, novas colunas, que representam os novos volumes negociados, são adicionadas, ao mesmo tempo em que as antigas colunas são diminuídas, dia a dia, podendo, eventualmente, deixar de existir, ou seja, terem os seus valores diminuídos até chegarem a zero. Este processo dinâmico representa, no modelo, a própria dinamicidade que é inerente do mercado financeiro real.

Uma vez que os valores dos últimos volumes restantes são obtidos, ao final do processamento do modelo, os mesmos podem então ser utilizados para fins de análise do preço atual da ação no que tange à sua atratividade de compra. A lógica por trás desta análise é bastante simples: quanto maior for a soma dos volumes restantes que estão à direita do preço atual (e que, portanto, foram comprados a um preço maior do que o preço atual) mais será considerado atrativo o preço atual da ação. Onde uma soma destes volumes que seja igual a 100% significaria que, de acordo com as estimativas do modelo, todos os atuais investidores da ação compraram os seus papéis no passado a um preço superior ao preço atual da ação e, portanto, comprar esta ação agora poderia ser considerado uma boa opção. Neste ponto, é importante ressaltar que o tipo de análise utilizada no modelo é estritamente “técnica”, ou seja, é baseada somente no comportamento dos preços da ação ao longo do tempo, e não leva em conta os chamados “fundamentos” da empresa em questão, que são tratados na análise conhecida como “fundamentalista”. A análise fundamentalista leva em conta dados econômicos da empresa em questão, tais como os seus balanços financeiros divulgados e as perspectivas futuras para o tipo de mercado no qual a empresa está inserida. A análise que está sendo proposta neste modelo é indicada para ser utilizada como uma análise complementar à análise fundamentalista da ação. Feita esta ressalva, que é importante para os fins práticos de aplicação a que o modelo se propõe, será mostrado agora como é feito o cálculo do índice de atratividade da ação baseado nos valores dos volumes restantes atuais.

$$\text{Valor atual do índice: } 0,60 - 0,40 = 0,20$$

Gráfico 1.4 – Ilustração demonstrando o cálculo do valor do índice

Para se obter o valor atual do índice, basta somar os valores dos volumes restantes localizados à esquerda do preço atual da ação e subtrair deste valor a soma dos volumes restantes atuais localizados à direita do preço atual da ação. Uma vez que a soma total destes volumes, localizados à esquerda e à direita do índice, é sempre igual a 1 (pois os volumes são trabalhados como uma razão do volume total, ou *free float*) então o valor do índice irá variar de -1 até 1 (gráfico 1.4). Um valor do índice de -1 significaria que todos os investidores atuais estão obtendo perdas (indicando um bom momento para se comprar a ação) e, no outro extremo, um valor do índice igual a +1 significaria que todos os investidores atuais estariam obtendo lucros (indicando não ser um bom momento para se comprar esta ação). E, entre os seus valores intermediários entre -1 e +1, estaria o intervalo no qual o investidor iria trabalhar na maior parte do tempo, visto que a maioria das ações encontradas no mercado real costuma oscilar na maior parte do tempo nesta faixa intermediária.

Em relação à sua organização, este trabalho está subdividido da seguinte forma:

- Capítulo 1: temos esta introdução, que faz uma breve revisão bibliográfica acerca das evidências já encontradas que apontam a existência de uma correlação positiva entre as variações dos preços e os volumes negociados, que é a base empírica de nosso modelo. E também fornece uma visão geral a respeito da lógica que está por trás do funcionamento do modelo e de como se dá a sua aplicação prática.
- Capítulo 2: é feita uma descrição detalhada do modelo, especificando quais são os seus dados de entrada e de saída e quais são os cálculos que são realizados durante o seu processamento.
- Capítulo 3: temos a apresentação dos resultados obtidos a partir de testes que foram realizados utilizando dados reais do mercado de ações brasileiro. Para realização destes testes foi utilizada a técnica de modelagem por agentes, que também é rapidamente introduzida neste capítulo.
- Capítulo 4: é feita a apresentação dos resultados que foram obtidos a partir da aplicação do uso do índice a um modelo de livro de ordens. Um modelo de livro de ordens, que também é explicado neste capítulo, procura simular dados estilizados do comportamento de preços do mercado financeiro real por meio de um processo dinâmico gerado por computador.
- Capítulo 5: temos as conclusões e as perspectivas futuras a respeito deste estudo.

Capítulo 2

Descrição do modelo

Para descrever o modelo, iniciar-se-á por descrever quais são os seus dados de entrada e quais são os seus dados de saída. Após isso, será feita a descrição detalhada dos cálculos que estão por trás da geração do índice proposto, durante o processamento do modelo.

2.1 Dados de entrada e dados de saída

O conceito de volume utilizado neste modelo é aquele conhecido como *free float*, que representa a quantidade total de papéis (ou ações) de uma empresa efetivamente disponíveis para negociação no mercado financeiro. Para chegar ao valor do *free float* para cada ação utilizada nos testes, o volume total de ações emitidas no mercado pela empresa foi subtraído pelo volume de ações em poder dos acionistas majoritários, e que, portanto, não costumam ser negociadas rotineiramente no mercado de ações. No caso de haver alterações na estrutura acionária da empresa ao longo do tempo, então o valor do seu *free float* também é atualizado no modelo. Por exemplo, se a empresa realiza um segundo *IPO* (oferta pública de ações), então o número de ações disponíveis no mercado (*free float*) será atualizado naquela mesma data, adicionando-se a ele o número de novas ações que foram emitidas no mercado juntamente com o seu respectivo preço de emissão. E se, por outro lado, a empresa compra um determinado número de suas próprias ações no mercado para manter em tesouraria e, posteriormente, cancela estas mesmas ações, então o seu *free float* será atualizado desta vez por meio da subtração da quantidade de ações que foram canceladas pela empresa, na data de seu cancelamento. Geralmente estes dados relativos à estrutura acionária da empresa e ao seu *free float* são disponibilizados abertamente em suas páginas na internet, em uma seção intitulada “Relações com Investidores”, e, portanto, podem ser obtidos sem maiores complicações.

Os dados de entrada necessários para a execução do modelo são os seguintes:

- Os preços médios históricos da ação, que podem ser obtidos de duas formas: (1) dividindo-se o volume total diário negociado, medido em unidades de moeda, pelo volume total diário negociado, medido em quantidade de ações ou (2) calculando-se a média aritmética dos preços mínimos e máximos diários negociados. Sendo que a primeira forma é um pouco mais acurada do que a segunda.
- Os volumes históricos diários negociados, medidos em quantidade de ações.
- Possíveis operações que afetem o *free float* da ação no período, tais como: novos *IPO*'s, compras e cancelamentos de ações efetuados pela própria empresa e possíveis desdobramentos (ou fracionamentos) de ações.

Uma vez de posse destes dados, o modelo é então executado e o mesmo irá nos fornecer um gráfico onde, no eixo x, temos os preços estimados exercidos no passado por todos os atuais investidores da ação e, no eixo y, temos os respectivos atuais volumes que foram negociados em cada preço, medidos como uma razão do volume total da ação (*free float*), de tal forma que a soma total destes volumes é igual a 1. Será fornecido também o preço médio ponderado pelos volumes (*PMPV*) e a evolução do índice ao longo do tempo para aquela ação.

Gráfico 2.1 – Fluxograma geral do funcionamento do modelo

2.2 Processamento

Antes da execução do modelo, os dados de entrada foram tratados da seguinte maneira: os preços médios e os volumes foram organizados cronologicamente, de forma ascendente, e divididos em dois diferentes vetores, um vetor v para os volumes e um vetor p para os preços. A seguir, na primeira linha do vetor v , foi inserido o número que representa o *free float* inicial da ação (a quantidade total de ações que foram emitidas pela empresa em seu primeiro *IPO*) e, na primeira linha no vetor p , foi inserido o respectivo preço de exercício para compra das ações que foram emitidas, no momento do primeiro *IPO* da empresa. Se por acaso existiram operações, desde o *IPO* até o último dia verificado nos dados de entrada, que alteraram o valor do *free float* durante o período, tais como novas emissões de ações ou cancelamentos de ações, então estas operações também foram inseridas nos dois vetores v e p , sempre se obedecendo a sua ordem cronológica. Por exemplo, se a empresa cancelou 1.000 ações (hipoteticamente) 30 dias após o seu primeiro *IPO*, então seria inserido o

número 1.000 na linha 31 do vetor v (seria na linha 31 porque a primeira linha do vetor corresponde ao *IPO* e, portanto, não é considerada como um dia de negociação na bolsa). E também é inserido o seu preço respectivo na mesma linha do vetor p (embora neste caso, como se trata de um cancelamento, então o valor do preço não tem grande importância para o modelo; todavia é necessário que se insira um número no vetor p a fim de se manter a sua correspondência de linhas com o vetor v). Quando o programa de computador do modelo ler esta linha do vetor, o mesmo irá identificar que se trata de um cancelamento de ações (por meio da inserção de algum sinal específico antes do número, como um sinal de “menos”, por exemplo) e então irá subtrair o número 1.000 do *free float* atual da ação, distribuindo este valor de uma forma proporcional aos volumes atuais existentes. Um segundo *IPO*, por exemplo, teria o mesmo efeito sobre o *free float*, apenas invertendo o seu sinal: ao invés de se diminuir os volumes atuais seria feita uma adição. E, neste caso, o preço de emissão seria importante, na medida em que uma nova coluna é adicionada representando a quantidade de novas ações que foram emitidas, e a localização desta nova coluna no eixo x deve ser igual ao valor do preço de emissão. Uma vez que se está absolutamente certo de que foram identificadas e inseridas todas as possíveis operações que alteraram o valor do *free float* da ação durante o período considerado, passa-se então à execução do modelo.

O processamento do modelo se inicia a partir da leitura da primeira linha dos vetores p e v , que trazem o *free float* gerado pelo primeiro *IPO* da empresa v_t (que também é o seu volume inicial v_0) e o seu respectivo preço inicial p_0 , que é o preço da oferta. Estes dois números são então gravados em dois novos vetores, inicialmente vazios, chamados de vn e pn , respectivamente. Estes novos vetores serão utilizados para se armazenar os volumes restantes atuais e os seus respectivos preços. Neste primeiro momento, fazendo uma correlação com o mercado real, nós temos cem por cento dos investidores comprados a um mesmo preço. Prosseguindo, nas segundas linhas dos vetores v e p são lidos os dados relativos ao primeiro dia de negociação da ação na bolsa de valores, com um volume total v_1 negociado a um preço médio p_1 , que serão então gravados nos vetores vn e pn tal como se segue:

$$vn = [vn_0, vn_1] \quad \text{e} \quad pn = [pn_0, pn_1] .$$

Agora, novamente fazendo uma correlação com o mercado real, sabe-se que v_1 ações foram vendidas a um preço médio p_1 . E também se sabe que, pelo motivo de que ainda se está no primeiro dia de negociações na bolsa, aqueles que venderam estas v_1 ações as compraram anteriormente pelo preço p_0 . Portanto agora, antes de ler as próximas linhas dos vetores v e p , o programa irá subtrair v_1 de v_0 , a fim de se manter a soma total do vetor vn igual a v_t (que é o *free float*). Vale também lembrar que aqui se está lidando com os preços médios diários de negociação e, por esse motivo, pode-se assumir que todos os investidores compraram as ações pelo mesmo preço p naquele dia. Do terceiro dia de negociação em diante, existe um fator de incerteza com o qual se foi necessário lidar para que o modelo pudesse ser executado: a partir deste dia t em diante, sabe-se que v_t ações foram vendidas a um preço médio p_t , mas não é possível se saber qual preço p_t foi pago por estas mesmas ações v_t no momento de sua compra, no passado. Ou, raciocinando-se em termos do mercado real, quais

seriam aqueles investidores, dentre todos os investidores pré-existentes da empresa, que estariam vendendo os seus papéis hoje e, portanto, deixando de fazer parte do *free float*, a fim de permitir que estes novos investidores possam comprar estes mesmos papéis hoje? Esta é uma questão bastante crucial para o modelo, na medida em que, na sua resposta, estão baseados os cálculos realizados para se atualizar os volumes pré-existentes em vn . E o maior desafio que se impõe, aqui, é justamente utilizar uma distribuição que melhor representaria aquela que seria a distribuição que ocorre nas negociações do mercado real. Uma vez que não é possível se obter este tipo de dado no mercado real (qual seria o preço que o investidor que hoje está vendendo a sua ação pagou pela mesma no passado, quando a adquiriu) então a saída encontrada para se procurar contornar esta dificuldade foi a utilização de uma distribuição proporcional, na qual a cada novo dia de negociação na bolsa, cada elemento já existente vn_i , no vetor vn , será atualizado de acordo com a seguinte fórmula:

$$vn_{i,t+1} = vn_{i,t} \cdot \left(1 - \frac{v_{new}}{vt}\right) ,$$

onde v_{new} é o novo valor adicionado ao vetor e refere-se ao volume total de ações negociado no dia $t+1$. Desta forma, os volumes já existentes são subtraídos de forma proporcional aos seus respectivos valores. E, à medida que o modelo é executado, alguns destes volumes irão deixar de existir (seus valores continuarão diminuindo até chegar a zero) ao mesmo tempo em que os novos volumes (que representam os novos dias de negociações) são inseridos em posições diferentes do eixo x (porque eles foram negociados a preços diferentes). E este processo dinâmico continua até que a última linha dos dados de entrada é lida, o que representa o último dia de negociação da ação no período abrangido pela modelagem. É importante enfatizar que o uso desta fórmula também permite ao modelo a manutenção da soma total dos elementos do vetor vn como sendo sempre igual a vt (o *free float*), o que é considerado como um fator chave para a base intuitiva do modelo. E esta mesma importância também é dada às possíveis alterações que podem ocorrer no valor de vt durante o período, tais como novas emissões de ações, cancelamentos e desdobramentos. O modelo, para funcionar corretamente, necessita lidar com cada uma destas possíveis operações, visando procurar manter o valor de seu *free float* o mais próximo possível daquele que seria o seu valor real.

O preço médio ponderado pelos volumes (*PMPV*) representa aquele que poderia ser considerado o atual preço “neutro” da ação. A palavra “neutro” é empregada, neste caso, com o sentido de que se teria cinquenta por cento do *free float* comprado abaixo deste preço e os cinquenta por cento restantes comprados acima deste preço. O seu cálculo se dá por:

$$PMPV = \sum_{i=1}^n pn_i \cdot \frac{vn_i}{vt} ,$$

onde n é o número total dos atuais volumes restantes vn_i no vetor vn .

E, finalmente, o nosso índice ρ é obtido por:

$$\rho = VDI - VDS , \text{ onde}$$

VDI = a soma de todos os atuais volumes restantes vn_i cujos preços estão abaixo do preço atual, e

VDS = a soma de todos os atuais volumes restantes vn_i cujos preços estão acima do preço atual.

Lembramos que, como os volumes vn_i são tomados como uma razão do volume total vt , a sua soma total é igual a 1. Consequentemente, os valores do índice ρ irão variar de -1 até +1, onde um valor de -1 significa que todos os investidores (cem por cento dos atuais volumes restantes) estão obtendo perdas (porque o preço atual da ação está abaixo do preço que eles exerceram ao comprar a ação no passado) e um valor de +1 significa que todos os investidores (cem por cento dos atuais volumes restantes) estão obtendo ganhos (porque o preço atual da ação está acima do preço que eles exerceram ao comprar a ação no passado).

Ao final da simulação nós teremos, de acordo com o nosso modelo, o preço médio ponderado pelos volumes estimado para aquela ação, bem como um gráfico com todos os volumes negociados restantes estimados, no eixo y, com os seus respectivos preços em que cada um deles foi negociado, no eixo x. E nós também teremos a evolução do nosso índice, que representa a diferença entre a atual porcentagem do volume total da ação (*free float*) que está obtendo ganhos e a atual porcentagem do volume total da ação que está obtendo perdas, ao longo do período abrangido.

Capítulo 3

Testes realizados com dados reais

3.1 Metodologia de testes

Uma vez que se sabe que, obviamente, os dados finais fornecidos pelo nosso modelo não podem ser considerados como dados reais e sim dados estimados, e que também não é possível de se obter tais dados no mercado real para comparação (caso contrário, não haveria necessidade de se desenvolver um modelo para isso), foi então utilizada a técnica de simulação por agentes (*MAS: Multi-Agent Simulation*, em inglês) para se testar a credibilidade e a aplicabilidade do modelo. Na seção 3.1.1 será feita uma breve apresentação desta técnica de simulação, que pode ser utilizada tanto para fins de testes como também de modelagem (*ABM: Agent-Based Modeling*, em inglês). A técnica de modelagem baseada em agentes foi utilizada na parte que será demonstrada no capítulo 4 deste trabalho. Na seção 3.1.2 serão descritos com detalhes os agentes utilizados nos testes, bem como o funcionamento da sua dinâmica.

3.1.1 Breve introdução ao uso de modelagem baseada em agentes

A modelagem baseada em agentes é uma ferramenta técnica utilizada em simulações e que tem sido bastante utilizada em pesquisas acadêmicas, nas mais diversas áreas, por permitir emular comportamentos humanos de uma forma estilizada. Isto pode ser particularmente útil quando se pretende identificar padrões que emergem, sob um ponto de vista macro (ao nível de uma sociedade, por exemplo), a partir de comportamentos que ocorrem sob um ponto de vista micro (ao nível individual). Nesta técnica, um sistema é modelado como um conjunto de entidades capazes de tomarem decisões autônomas, chamadas agentes. Cada agente, individualmente, tem acesso à sua própria situação e toma decisões com base em algumas regras previamente estipuladas. Os agentes podem, ou não, interagir entre si ao longo da simulação. Geralmente as simulações são elaboradas fazendo-se uso de várias rodadas, repetitivas, que geram iterações ao longo do tempo. Estas iterações são calculadas e armazenadas com o uso dos recursos de processamento computacional atualmente disponíveis, tornando possível a obtenção de resultados gerados dinamicamente (BONABEAU, 2002). Resultados, esses, que poderiam ser bastante difíceis de se obter matematicamente, por meio da forma analítica, principalmente para o caso de fenômenos emergentes. Até mesmo modelos baseados em agentes considerados simples são capazes de exibir padrões de comportamento considerados complexos e, com isso, fornecer importantes informações a respeito do sistema real que foi emulado. Dentre as várias áreas que podem ser citadas como exemplo de grandes potenciais para aplicação desta técnica, pode-se mencionar

as ciências sociais aplicadas, com os seus diversos ramos distintos entre si, tais como o marketing, a política e a economia.

A área de finanças comportamentais, com o conceito de racionalidade limitada (SIMON, 1957) e a teoria do prospecto (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979), que considera os fatores psicológicos humanos como influenciadores das decisões tomadas pelos agentes financeiros, tem se utilizado muito deste recurso, uma vez que este se adequa perfeitamente a um de seus principais propósitos: encontrar padrões que se formam no nível agregado a partir dos comportamentos individuais dos agentes atuantes no sistema. Dois exemplos de trabalhos que fazem uso deste recurso são o de Cross et al (2005) e o de Lux e Marchesi (1999). O primeiro considera parâmetros que representam fatores psicológicos humanos, tais como a “covardia” (aversão a se estar em uma posição de minoria no mercado) e a “inatividade” (propensão maior ou menor do agente de constantemente reavaliar a sua atual posição financeira) e, somente a partir destes fatores e de suas respectivas consequências decorrentes da interação entre os agentes, e trabalhando com uma base de preços iniciais aleatória, consegue reproduzir grande parte das características estatísticas presentes nas curvas de variações de preços de um mercado real, tais como caudas longas, caudas grossas, curtose, volatilidades clusterizadas no médio e no longo prazos e ausência de correlação nos retornos dos preços (apenas os quadrados dos retornos apresentam autocorrelação). O segundo trabalho divide os agentes em dois grupos: aqueles que seguem uma estratégia de investimento fundamentalista, visando lucros no longo prazo e utilizando o valor “real” da empresa como base de decisão para a compra de suas ações, e aqueles que operam no mercado de uma forma mais aleatória, seguindo curtas tendências de alta ou de baixa nos preços identificadas por meio da análise gráfica das cotações históricas, seriam os chamados “grafistas” ou *technical traders*. A partir da interação entre estes dois tipos de agentes, este modelo também consegue reproduzir as principais características estatísticas de variações nos preços encontradas no mercado real. Tais características dos investidores serão retomadas posteriormente no capítulo 4 para descrever o modelo de livro de ordens (*order book*).

Nesta parte do trabalho, nós utilizamos a simulação por agentes com o objetivo de se medir qual seria o grau de acertos obtido em operações financeiras em um mercado real por agentes que operassem baseando-se exclusivamente no comportamento do nosso índice, como será descrito na seção 3.1.2.

3.1.2 Descrição dos agentes gerados e da sua dinâmica

Foram criados 39 agentes para operar com dados financeiros reais da bolsa de valores de São Paulo (Bovespa). Todos os agentes compram e vendem uma ação de acordo exclusivamente com o comportamento de nosso índice. Cada agente recebeu um parâmetro, que varia de 0,025 até 0,975, com intervalos de 0,025 entre cada um deles (por isso o número total de exatamente 39 agentes criados), e ele irá comprar uma ação somente quando o valor do índice calculado para esta ação atingir o valor do parâmetro atribuído ao agente, no lado negativo. E, alternadamente, ele irá vender a ação somente quando o valor de seu índice atingir o valor do parâmetro atribuído ao agente, do lado positivo. Assim, o primeiro agente, cujo parâmetro é 0,025, irá comprar uma ação toda vez que o índice desta ação é igual ou

inferior a $-0,025$, e irá vender esta mesma ação toda vez que o valor de seu índice é igual ou superior a $+0,025$. Portanto, o primeiro agente irá realizar um número de operações bem maior do que o último agente, cujo parâmetro é $0,975$.

Desde que o índice aqui proposto é voltado para fins essencialmente práticos de investimento, faz-se interessante ressaltar o que estes parâmetros significariam no mercado real. Como já foi mencionado, o valor do índice varia de -1 até $+1$, onde um valor de -1 significaria que todos os volumes que compõem o *free float* da ação estão atualmente tendo perdas no mercado financeiro, porque o preço atual da ação está abaixo do preço que foi exercido no momento da compra dos papéis que compõem estes volumes no passado. E, no outro extremo, quando o índice atinge o valor de $+1$, isto significaria que todos os volumes que compõem o *free float* atualmente estão tendo lucros, pois o preço atual da ação está acima do preço que foi exercido na compra destes papéis, no passado. Estes valores de “preços passados de compra” podem ser estimados graças ao método de atualização dos volumes que foi utilizado no modelo, de forma a sempre se manter o valor do *free float* constante, conforme foi visto na seção 2.2. Assim, se um agente compra a ação somente quando o índice atinge o valor de -0.5 , por exemplo, isto significa que, neste exato momento, o modelo estima que a soma de todos os volumes que estão atualmente tendo perdas excede a soma de todos os volumes que estão atualmente tendo lucros em exatamente metade do volume total, ou *free float*. Como já foi dito, quanto mais baixo é o atual valor do índice, então mais atrativo seria considerado o atual preço da ação para o possível investidor, onde o preço mais atrativo possível seria quando o índice atingisse o valor de -1 e, alternadamente, o preço menos atrativo para o possível investidor de uma ação seria quando o índice atingisse o valor de $+1$. Neste sentido, é esperado que os agentes cujos parâmetros sejam maiores realizem menos operações que os agentes cujos parâmetros sejam menores, assim como também é esperado que as suas operações sejam mais lucrativas do que as operações realizadas pelos agentes com parâmetros menores. Fazendo um paralelo com o mercado real, poderia se dizer que os primeiros agentes, com parâmetros menores, seriam considerados como investidores de curto prazo, enquanto que os últimos agentes, com valores de parâmetros maiores, seriam considerados como investidores de longo prazo.

Os preços exercidos e os retornos obtidos em todas as operações realizadas por cada agente são gravados e acumulados, de tal forma que, ao final da simulação, é possível se ter uma lista com todas as operações realizadas pelos agentes, com os seus respectivos preços de compra e de venda, bem como os seus retornos acumulados durante todo o período. Caso o agente possua operações em aberto ao final da simulação (ele está comprado e ainda não teve chance de vender a sua ação) então a sua operação é encerrada de modo forçado, para que a mesma também possa ser levada em conta no cálculo do seu retorno acumulado final. Estes retornos acumulados são então comparados entre si a fim de se medir a eficiência de cada valor do parâmetro em termos de retorno obtido. Por último, e como o nosso maior objetivo ao efetuar os testes, nós comparamos os retornos obtidos pelos agentes com o retorno geral proporcionado pelo movimento do preço real da ação, durante o mesmo período.

3.2 Dados reais utilizados

Foi feita a aplicação do modelo a três ações da bolsa de valores de São Paulo, que foram as seguintes:

- JBSS3 (peso atual de 0,989% no Ibovespa). Setor: alimentos. Período: de 02/04/2007 até 22/03/2013.
- MRFG3 (peso atual de 0,768% no Ibovespa). Setor: alimentos. Período: de 29/06/2007 até 22/03/2013.
- OGXP3 (peso atual de 2,593% no Ibovespa). Setor: petróleo e gás. Período: de 04/04/2007 até 22/03/2013.

Para todas as ações aqui contempladas, foram levados em conta os dados referentes aos seus históricos completos de negociação na bolsa, ou seja, desde os seus primeiros *IPO's* (aberturas de capital) até o dia 22/03/2013, assim como também as possíveis alterações que ocorreram em seus *free floats* durante o período. Os valores que foram utilizados como *free floats* podem ser consultados no apêndice A deste trabalho.

Na seção 3.3 serão mostrados os resultados que foram obtidos com os testes realizados para cada uma das ações.

3.3 Apresentação e discussão dos resultados obtidos

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos a partir da execução do modelo para as ações JBSS3, MRFG3 e OGXP3. Serão mostrados cinco gráficos para cada uma das ações: (1) o histórico do comportamento do índice comparado com o histórico do comportamento dos preços da ação, (2) os volumes restantes estimados de acordo com os respectivos preços passados de compra, (3) o número de operações efetuadas pelos agentes que operaram baseando-se, exclusivamente, no comportamento do nosso índice, de acordo com o parâmetro que foi atribuído a cada um deles, (4) o retorno obtido pelos agentes, de acordo com o parâmetro que foi atribuído a cada um deles e (5) a evolução do preço médio ponderado pelos volumes (*PMPV*) em comparação com a evolução dos preços da ação.

Nos gráficos 3.1 a 3.5 são mostrados os resultados obtidos para a ação JBSS3. No gráfico 3.1 é possível notar que o comportamento do índice segue, de certa forma, o comportamento dos preços. Porém, ele possui a característica de conseguir salientar os vários movimentos intermediários de alta e de baixa da ação, ao mesmo tempo em que respeita os valores extremos de -1 e de +1 do índice.

No gráfico 3.2 temos os volumes restantes estimados atuais, em valores percentuais do volume total, de acordo com os seus respectivos preços de compra. Nota-se que existe um preço passado de compra que se destaca dos demais em relação à sua representatividade entre os volumes, chegando a responder, sozinho, por cerca de 6% do volume total (*free float*) da ação. Ao se checar o histórico de preços e volumes da mesma, verifica-se que isto é devido ao fato de que no dia 28/02/2013 houve um volume bastante alto de negociações para esta ação, que chegou a exceder em cerca de cinco vezes o volume médio de negociações no

período. Daí vem o fato de o modelo estimar ainda um alto volume de investidores comprados a este preço (R\$ 6,91) na última data dos dados, que é de 22/03/2013.

No gráfico 3.3 são mostradas as quantidades de operações efetuadas por agente. Lembrando que uma operação, aqui, significa uma compra e uma posterior venda. Como já era esperado, os primeiros agentes, cujos parâmetros são menores do que os dos últimos, efetuaram mais operações do que estes.

No gráfico 3.4 são indicados os retornos obtidos pelos agentes de acordo com o parâmetro de cada um deles. O que chama bastante a atenção neste gráfico é o alto retorno obtido pelo último agente, cujo parâmetro é 0,975. Com apenas quatro operações, este agente conseguiu obter um retorno acumulado de 337% no período. Ressalta-se também que o preço desta ação apresentou uma queda de 14,6% durante o período analisado, que foi de cerca de seis anos. Este foi o agente que melhor conseguiu otimizar a performance de suas operações, dentre todos os testes realizados neste trabalho.

Outra característica interessante que vale a pena destacar em relação ao gráfico 3.4 é a inclinação de sua curva. Na medida em que o parâmetro do agente aumenta, o seu retorno acumulado também tende a aumentar. Isto pode ser visto como uma boa indicação de que a lógica utilizada em nosso modelo, para definição do índice, possui um respaldo empírico, uma vez que os agentes que operam com os parâmetros mais altos (mais próximos de 1) também operam de acordo com os valores extremos do nosso índice e, por isso, podem ser considerados como os mais representativos para os testes de eficiência do mesmo.

No gráfico 3.5 é mostrada a evolução do preço médio ponderado pelos volumes (*PMPV*) e a evolução dos preços da ação no período. Destaca-se aqui a relativa sincronicidade entre ambas, com a linha correspondente ao *PMPV* sendo um pouco mais “suavizada” do que a linha do preço, o que já era esperado por a primeira ser calculada com base nas médias históricas da segunda, ponderadas pelos respectivos volumes remanescentes estimados.

Gráfico 3.1 – JBSS3: Histórico do índice e histórico de preços

Gráfico 3.2 – JBSS3: Volumes restantes atuais e os seus respectivos preços passados de compra

Gráfico 3.3 – JBSS3: Número de operações efetuadas por agente

Gráfico 3.4 – JBSS3: Retorno obtido por agente (em %) de acordo com o seu respectivo parâmetro

Gráfico 3.5 – JBSS3: Evolução do *PMPV* e do preço

Nos gráficos 3.6 a 3.10 são mostrados os resultados obtidos para a ação MRFG3. Esta ação apresentou um movimento anormal de preços entre os dias 29/07/2011 e 11/08/2011, quando ela então desvalorizou 45% em apenas dez dias de pregões consecutivos, devido à quebra e consequente vendas de ações de um importante fundo de investimentos, o que resultou também em um alto volume de negociações durante estes dias. Apesar deste movimento anormal, é interessante notar que os últimos agentes ainda assim conseguiram obter retornos acumulados bastante interessantes durante o período, com o último agente chegando a um retorno de 102%, com apenas três operações realizadas.

Gráfico 3.6 – MRFG3: Histórico do índice e histórico de preços

Gráfico 3.7 – MRFG3: Volumes restantes atuais e preços passados de compra

Gráfico 3.8 – MRFG3: Número de operações efetuadas por agente

Gráfico 3.9 – MRFG3: Retorno obtido por agente

Gráfico 3.10 – MRFG3: Evolução do *PMPV* e do preço

Prosseguindo com os resultados, temos agora, nos gráficos de 3.11 a 3.15, os resultados que foram obtidos para a ação OGXP3. Esta ação também apresentou um movimento

bastante anormal de preços ao longo do período analisado, com o seu preço chegando a desvalorizar nada menos do que 81% no período. Esta desvalorização grande no preço da ação resultou no fato de que todos os agentes apresentaram retornos negativos. Apesar deste desempenho bastante negativo dos agentes nesta ação, foi considerado válido mantê-la entre os resultados aqui apresentados para se poder usá-la como um exemplo de que não se deve utilizar o índice como única ferramenta para fins de decisão de investimento. Ressaltamos, mais uma vez, que a função a que o índice se propõe é a de ser uma ferramenta auxiliar para o investidor que deseja avaliar a atratividade do preço atual de uma ação. Após o investidor verificar os fundamentos da empresa que ele está pensando em investir, e certificar-se de que se trata de uma empresa financeiramente sólida, ele então pode fazer uso do índice como uma ferramenta de análise técnica, complementar à análise fundamentalista da ação. Uma discussão mais aprofundada a respeito de quais tipos de comportamentos de preços de ativos seriam mais indicados para a aplicação do índice será feita no capítulo 4.

Gráfico 3.11 – OGXP3: Histórico do índice e histórico de preços

Gráfico 3.12 – OGXP3: Volumes restantes atuais e preços passados de compra

Gráfico 3.13 – OGXP3: Número de operações efetuadas por agente

Gráfico 3.14 – OGXP3: Retorno obtido por agente

ogxp3: Historico de precos e preco medio ponderado pelos volume:

Gráfico 3.15 – OGXP3: Evolução do *PMPV* e do preço

Na tabela 3.1 temos um quadro geral dos resultados obtidos nos testes. Foi optado por se utilizar os valores dos retornos obtidos pelos últimos agentes, nesta tabela, por se considerar que estes agentes seriam os mais representativos da lógica que está por trás do modelo, uma vez que os mesmos operaram de acordo com os valores mais extremos do índice, de 0,975. Neste quadro é possível se observar que, para as duas primeiras ações utilizadas nos testes, o uso do índice foi capaz de proporcionar uma otimização das operações dos agentes que pode ser considerada muito alta, em termos de retorno. Principalmente quando comparada com o retorno oferecido pelo desempenho do preço destas ações no mesmo período. Já para a ação OGXP3, o retorno obtido pelo último agente, embora esteja ligeiramente acima do retorno proporcionado pelo preço da ação no período, foi extremamente negativo. O que contribui para mostrar que o uso do índice, por si só, não é uma garantia de bons desempenhos para o investidor.

Tabela 3.1 – Ações utilizadas nos testes e os respectivos retornos obtidos pelos últimos agentes

Ação	Retorno do preço (%)	Retorno último agente (%)
JBSS3	-14,6	337
MRFG3	-47,2	102
OGXP3	-81,1	-77
Média	-47,6	120,7

Neste capítulo foram mostrados testes que foram realizados com dados reais do mercado financeiro a fim de se testar a eficiência e a aplicabilidade do uso do índice como uma ferramenta auxiliar para fins de análise de investimento. Foi visto, por meio de simulações

com agentes que operaram com dados históricos de três ações que fazem parte do índice Ibovespa, que o uso do índice foi capaz de otimizar altamente as operações dos agentes, do ponto de vista de seus retornos financeiros, para duas destas ações. E que para a última ação, que teve uma desvalorização de mais de 80% no período, o uso do índice não pode ser considerado eficaz, do ponto de vista da otimização dos retornos dos agentes. No capítulo 4 serão demonstrados outros testes que foram realizados com o uso do índice, desta vez aplicando-o a trajetórias de preços que foram geradas por computador, a partir de um modelo de livro de ordens (*order book*).

Capítulo 4

Testes realizados com dados simulados com base em um modelo de livro de ordens

Neste capítulo serão descritos alguns testes que foram feitos com o uso do índice aplicado a um mercado financeiro virtual, ou seja, um mercado elaborado a partir de dados gerados por computador que procuram simular um mercado financeiro real. Para tanto, foi utilizado um modelo de livro de ordens (*order book*). Este modelo será explicado e detalhado nas seções 4.1 e 4.2. E na seção 4.3 serão mostrados os resultados que foram obtidos quando agentes investiram neste mercado realizando as suas operações de compra e de venda com base exclusivamente no comportamento do índice proposto.

4.1 Descrição do modelo de livro de ordens

A tarefa de se procurar recriar um mercado financeiro a partir de um programa de computador é bastante desafiante, pois um mercado financeiro real apresenta um altíssimo número de fatores condicionantes em seu processamento. Estes fatores podem ser de origem interna, que seriam aqueles decorrentes do comportamento individual e da interação entre os próprios agentes que compõem o mercado, ou de origem externa, tais como o cenário macroeconômico no qual o mercado está inserido. E isto acaba fazendo com que esta tarefa, de recriar estes fatores em um ambiente virtual, tome ares de grande complexidade. Para se contornar este grande desafio, foi optado, neste trabalho, por se fazer uso de um modelo de mercado financeiro conhecido como “livro de ordens”, que foi baseado no modelo proposto por Alexandre, Ferreira e Rodrigues Neto (2013).

No modelo de livro de ordens, os preços são definidos com base em duas colunas de preços, a primeira contém as ordens de compra (*bid*) e a segunda contém as ordens de venda (*ask* ou *offer*). Cada uma destas ordens é acompanhada de seu respectivo preço de compra ou de venda. A atualização dos preços do ativo se dá quando as ordens enviadas pelos agentes são executadas. Se um agente envia uma nova ordem de venda, então esta ordem será atendida caso o seu preço seja menor ou igual ao preço da primeira ordem constante no livro de ordens de compra, que está classificado de forma decrescente em relação aos seus preços. E o mesmo ocorre quando é enviada uma nova ordem de compra pelos agentes: esta ordem será atendida caso o seu preço seja maior ou igual aos preços constantes no livro de ordens de venda, que é classificado de forma crescente em relação aos seus preços. Quando uma ordem é executada, ela então deixa de fazer parte do livro. E caso ela não seja executada, ou seja executada de uma forma parcial, então a quantidade de ações que não foi executada passa a fazer parte (ou continua a fazer parte, no caso de uma execução parcial) do respectivo livro de ordens de compra ou de venda. As novas ordens que são inseridas nos livros devem

cada ação é de \$10,00. No início da simulação, alguns parâmetros são atribuídos aos agentes, para que os mesmos possam tomar decisões de uma forma “individualizada” ao fazerem as suas transações. Listamos a seguir quais são estes parâmetros.

- Tipo de agente
Existem dois tipos de agente: “fundamentalista” e “grafista”, que são definidos de acordo com uma proporção f de agentes fundamentalistas.
- Preço fundamentalista (pf)
Para cada agente i é gerado um preço fundamentalista pf_i . Estes preços são utilizados pelos agentes do tipo fundamentalista como base para as suas avaliações de preços do ativo, e seguem uma distribuição normal, com média igual ao preço inicial (\$10,00) e com desvio padrão definido como 0,1.
- Grau de paciência (μ)
O grau de paciência μ_i define o quanto o agente i está disposto a esperar para comprar ou vender uma ação. Seus valores são medidos em termos percentuais, e seguem uma distribuição normal com média de 2% e desvio padrão de 2%. Quanto maior o grau de paciência do agente, maior também será o retorno que o mesmo almeja alcançar em suas operações de compra e venda.
- Memória (m)
Para cada agente i é atribuído um parâmetro m_i relativo à memória do mesmo, que será utilizado no caso de o agente ser do tipo grafista. Estes parâmetros m_i foram definidos a partir da geração de valores aleatórios entre $n_{rodadas}$ e $n_{rodadas} \times 40$, onde $n_{rodadas}$ é o número de rodadas executadas a cada dia no modelo. O número de rodadas executadas por dia foi definido como sendo de 50 rodadas.
- Duração das ordens (d)
Cada ordem de compra ou de venda terá uma respectiva duração d , medida em dias, após a qual a ordem é considerada expirada e então excluída do respectivo livro de ordens de compra ou de venda. Este procedimento, de exclusão das ordens expiradas, é executado a cada início de dia. Para se definir a duração das ordens, atribui-se a cada agente, no início da simulação, dois valores aleatórios, que variam desde 1 até 30 dias. Um destes valores será usado como parâmetro de duração para as ordens de compra do agente, e o outro será usado como parâmetro de duração para as suas ordens de venda, ao longo de toda simulação.

Também são atribuídas no início, para cada agente, as suas respectivas ordens iniciais de compra e de venda de ações nos livros de ordens. As quantidades de papéis constantes nestas ordens são definidas aleatoriamente, a partir de um intervalo entre 0 e 1.000 (que é o total de ações que cada agente possui inicialmente). Os preços constantes nestas ordens iniciais P são definidos de acordo com o tipo do agente i , por meio das equações a seguir.

Para agentes grafistas:

$$P_i = \text{preço inicial} \cdot (1 \pm \mu_i) \quad ,$$

com o sinal variando de acordo com o tipo da ordem: (+) para venda ou (-) para compra.

Para agentes fundamentalistas:

$$P_i = pf_i \cdot (1 \pm \mu_i) \quad .$$

A seguir, na seção 4.2.2, serão demonstrados os cálculos que ocorrem durante o processamento das rodadas na simulação do modelo.

4.2.2 Dinâmica do modelo

A cada nova rodada, um agente i é sorteado ao acaso para realizar uma possível ordem de venda e também uma possível ordem de compra. Ele poderá emitir uma nova ordem de venda caso a quantidade de ações que ele possui no momento seja maior do que a quantidade de ações atualmente já ofertadas por ele. A quantidade de papéis ofertados pode variar de zero (quando então a oferta de venda não será emitida) até o valor que é igual à diferença entre a quantidade de papéis que ele atualmente possui em seu poder e a quantidade de papéis já ofertados para venda que atualmente constam em seu nome no livro de ofertas de venda. No caso de uma nova ordem de compra, a sua quantidade de papéis também será aleatória, e pode variar de zero até o quociente entre a quantidade de dinheiro que o agente i possui no momento t e o preço da melhor oferta de venda no instante t menos a quantidade de ações que ele já esteja ofertando. A definição destas regras por meio de fórmulas matemáticas ficaria como se segue.

Para ofertas de venda:

$$Q_{i,t}^V \sim \varphi \left([0, A_{i,t} - O_{i,t}^V] \right) ,$$

onde $Q_{i,t}^V$ = quantidade de papéis que o agente i irá ofertar para venda no instante t ,

φ = número aleatório gerado entre 0 e $(A_{i,t} - O_{i,t}^V)$,

$A_{i,t}$ = quantidade de papéis que o agente i possui no instante t e

$O_{i,t}^V$ = quantidade de papéis que o agente i já está ofertando para venda, no instante t .

E para ofertas de compra:

$$Q_{i,t}^C \sim \varphi \left(\left[0, \frac{L_{i,t}}{ask_t} - O_{i,t}^C \right] \right) ,$$

onde $Q_{i,t}^C$ = quantidade de papéis que o agente i irá ofertar para compra no instante t ,

φ = número aleatório gerado entre 0 e $(\frac{L_{i,t}}{ask_t} - O_{i,t}^C)$,

$L_{i,t}$ = quantidade de dinheiro que o agente i possui no instante t ,

ask_t = preço da melhor oferta de venda no instante t e

$O_{i,t}^C$ = quantidade de papéis que o agente i já esteja ofertando para compra, no instante t .

O quociente da divisão $\frac{L_{i,t}}{ask_t}$ tem o seu valor truncado (toma-se apenas o seu valor inteiro, desprezando-se as suas casas decimais), para se evitar que o agente emita uma ordem de

compra cujo valor total esteja acima da quantidade de dinheiro que ele possui no momento, mesmo que esta diferença seja de apenas alguns centavos.

O preço da oferta P será definido de acordo com o tipo do agente. Caso o agente i seja fundamentalista então o preço de oferta do agente i , no instante t , será definido por:

$$P_i = pf_i \cdot (1 \pm \mu_i) ,$$

com o sinal variando de acordo com o tipo da ordem: (+) para venda ou (-) para compra.

Onde pf_i = preço fundamentalista do agente i e

μ_i = grau de paciência do agente i .

Caso o agente sorteado i seja grafista, então o seu preço de oferta P , no instante t , será definido de acordo com a condição que se segue.

Se a quantidade de rodadas já executadas for maior ou igual à memória m_i do agente, então:

$$P_{i,t} = (p_t + \frac{p_t - p_{t-m_i}}{m_i}) \cdot (1 \pm \mu_i) ,$$

onde p_t = preço atual do ativo,

t = número total de rodadas executadas até o presente e

m_i = memória do agente i .

Caso o número de rodadas executadas até o presente t seja menor do que a memória m_i do agente, então o seu preço de oferta será dado por:

$$P_{i,t} = p_t \cdot (1 \pm \mu_i) .$$

Em uma em cada k vezes, o preço de oferta do agente grafista sofrerá um distúrbio, onde o seu valor será então adicionado de uma variável ϕ , que é gerada sorteando-se um número inteiro no intervalo $[-10, 10]$ e dividindo-se este número por 100. O valor de k foi definido com sendo 5, o que faz com que este distúrbio no preço de oferta do agente grafista tenha uma chance de 20% de ocorrer.

Uma vez definido o preço de oferta do agente sorteado, então serão verificadas as ordens constantes no livro de ordens de compra (ou de venda) que satisfazem ao seu preço ofertado. Caso exista(m) ordem(ns) de compra cujo preço seja igual ou maior do que o preço de oferta de venda do agente i – e desde que essa(s) ordem(ns) não seja(m) do próprio agente i – então haverá negócio. E o mesmo vale para as ofertas de compra, onde então será verificado se existem ofertas de venda com preço menor ou igual ao preço de compra ofertado pelo agente sorteado. Serão realizadas operações de compra e de venda até que (1) a quantidade de ações ofertadas pelo agente i zere ou (2) o preço das ordens constantes no livro deixe de atender ao requisito de preço da ordem ofertada pelo agente. O preço exercido, nestas operações, será sempre igual ao preço constante nos livros de ordens, tanto para compra quanto para venda. Ao se concluir uma transação, são atualizados os seguintes dados para o comprador e para o vendedor: a quantidade de ações em seu poder, o seu dinheiro e as quantidades de ações que ele continua ofertando para compra e para venda.

Caso a ordem do agente i não seja executada integralmente (ou caso ela nem mesmo tenha chegado a ser executada) então a quantidade de ações que não foram executadas desta ordem serão incluídas no respectivo livro de ordens de venda ou de compra, com preço igual ao preço da oferta e duração igual a d_i .

A atualização do preço do ativo é feita sempre que ocorre uma nova transação de compra ou de venda, e o seu valor será igual ao preço que foi exercido nesta transação.

Foi também permitido no modelo que os agentes fossem substituídos ao longo da simulação. Neste caso, os t % dos agentes com piores retornos obtidos são identificados ao final de cada dia e trocados por igual quantidade de novos agentes, com novos parâmetros. Para se calcular os retornos obtidos por cada agente, calcula-se primeiro os seus capitais atuais, da seguinte forma:

$$capital_{i,t} = L_{i,t} + p_t \cdot A_{i,t} ,$$

onde $capital_{i,t}$ = capital atual do agente i no instante t ,

$L_{i,t}$ = quantidade de dinheiro do agente i no instante t ,

p_t = preço atual do ativo e

$A_{i,t}$ = quantidade de ações em poder do agente i no instante t .

E o retorno obtido por cada agente i , no instante t , é calculado da seguinte forma:

$$retorno_{i,t} = \frac{(capital_{i,t} - capital_{inicial_i})}{capital_{inicial_i}} ,$$

onde $capital_{inicial_i}$ = o capital inicial do agente i , que é a quantidade de dinheiro inicial do agente mais a sua quantidade de ações inicial multiplicada pelo preço da ação no momento em que ele entrou na simulação.

A quantidade de dinheiro inicial dos novos agentes é igual àquela definida para os agentes criados no início da simulação (\$10.000,00). A quantidade de ações dos novos agentes continua igual à quantidade de ações dos agentes no momento em que os mesmos foram substituídos, e o mesmo também ocorre com as possíveis ordens que existirem nos livros de ordens de compra e de venda que estiverem atreladas ao antigo agente. Esta não alteração da quantidade de ações dos novos agentes, em relação aos agentes que são substituídos, foi necessária para que o *free float* do ativo (quantidade de papéis disponíveis para negociação no mercado) não se altere no decorrer da simulação. Os valores para os parâmetros pf , m e d dos novos agentes são calculados da mesma forma que foi feita para os agentes iniciais. A única diferença é que a média utilizada para a geração de pf será igual ao preço atual do ativo. O tipo do agente (grafista ou fundamentalista) permanece o mesmo.

Na seção 4.3 serão apresentados os resultados que foram obtidos com as simulações realizadas com o modelo de livro de ordens.

4.3 Apresentação e discussão dos resultados obtidos

Foram realizadas diversas simulações, com diferentes combinações de valores de f (porcentagem de agentes fundamentalistas) e de t (porcentagem de agentes que são trocados ao final de cada dia durante a simulação). Para mostrar os resultados que foram obtidos, começaremos mostrando alguns gráficos com resultados obtidos para simulações com 100 dias de negociação, com o intuito de, inicialmente, se fornecer uma visão geral do comportamento dos preços do ativo neste modelo e de como o mesmo pode ser afetado pela definição dos valores dos parâmetros f e t .

Nos gráficos 4.3.1 e 4.3.2 se tem o histórico de preços, o histórico do índice e os volumes que foram negociados ao longo de 100 dias de simulação, para valores de $f = 0,1$ e de $t = 0$. Apenas recordando, um valor de $f = 0,1$ significa que 10% dos agentes que operam neste mercado são fundamentalistas e os 90% restantes são grafistas. E um valor de $t = 0$ significa que nenhum agente é substituído durante a simulação. Destaca-se, em relação à trajetória dos preços do ativo, a existência de tendência no longo prazo (no caso, uma tendência baixista) e de variações alternadas no curto prazo. Estas duas características podem ser explicadas pelo fato de que os agentes grafistas estipulam os seus preços de oferta com base exclusivamente nos preços anteriores, o que acaba por gerar, no longo prazo, uma tendência nos preços, seja ela de alta ou de baixa. Os agentes fundamentalistas exercem uma pressão contrária à tendência dos preços, uma vez que os mesmos baseiam os seus preços de oferta em valores fixos cuja média é o preço inicial da ação. Mas, como neste caso os fundamentalistas são a minoria de apenas 10% dos investidores no mercado, esta pressão não chega a ser suficiente para reverter a tendência dos preços no médio e no longo prazo. Em relação aos volumes diários negociados, o seu valor médio ficou em torno de 5% do *free float* nesta simulação.

Nos gráficos 4.3.3 e 4.3.4 pode-se ver o número de operações dos agentes que operaram no mercado baseando-se exclusivamente no comportamento do índice proposto e também os seus respectivos retornos obtidos, de acordo com o seu parâmetro de operação do índice.

Gráfico 4.3.1 – Histórico de preços e do índice para $f = 0,1$ e $t = 0$

Gráfico 4.3.2 – Histórico de preços e dos volumes diários negociados para $f = 0,1$ e $t = 0$

Gráfico 4.3.3 – Número de operações dos agentes que operaram de acordo com o índice, para $f = 0,1$ e $t = 0$

Gráfico 4.3.4 – Retornos obtidos pelos agentes que operaram de acordo com o índice, para $f = 0,1$ e $t = 0$

A seguir, nos gráficos 4.3.5 e 4.3.6, se tem o histórico de preços, o histórico do índice e os volumes diários negociados para uma simulação com valores de $f = 0,9$ e de $t = 0$. Nota-se, nestes gráficos, que quando se aumenta a porcentagem de agentes fundamentalistas atuando no modelo, os preços passam então a oscilar mais. E isto ocorre porque, como foi dito anteriormente, os agentes fundamentalistas baseiam os seus preços de oferta em valores extrínsecos à trajetória dos preços. E este fator, fazendo uma comparação com a estratégia grafista de estimativa de preços, acaba por funcionar como uma espécie de “âncora” para os valores dos preços, ao mesmo tempo em que também os faz oscilarem mais. A atuação dos grafistas contribui para acentuar os movimentos dos preços nos momentos de alta e de baixa no mercado, que, por sua vez, são ocasionados pela maior diferença existente entre os valores dos preços fundamentalistas, que possuem um desvio padrão igual a 10%. Quando o preço do ativo se distancia muito daquela que poderia ser considerada a média dos preços fundamentalistas, então os agentes fundamentalistas passam a atuar no sentido de fazer com que o preço retorne aos seus valores considerados mais “justos”. E este movimento de retorno, por sua vez, também pode ser acentuado em razão da atuação dos agentes grafistas. Estas “idas e vindas” do preço acabam por conferir ao gráfico de preços uma característica de movimento “pendular”. Esta característica fica facilmente visível nesta série de preços, que chega a apresentar um tipo de movimento bastante estilizado devido à grande maioria dos agentes atuantes serem fundamentalistas. Em relação aos volumes, os volumes de negociação diários registrados nesta simulação não diferiram muito em relação à simulação anterior.

Nos gráficos 4.3.7 e 4.3.8 são mostrados o número de operações dos agentes que utilizaram o índice para operar e os seus respectivos retornos obtidos, de acordo com o parâmetro. Nota-se que, nesta simulação, os agentes que operaram com o índice alcançaram retornos bem maiores do que na simulação anterior, e também realizaram um maior número de operações no período.

Gráfico 4.3.5 – Histórico de preços e do índice para $f = 0,9$ e $t = 0$

Gráfico 4.3.6 – Histórico de preços e dos volumes diários negociados para $f = 0,9$ e $t = 0$

Gráfico 4.3.7 – Número de operações dos agentes que operaram de acordo com o índice, para $f = 0,9$ e $t = 0$

Gráfico 4.3.8 – Retornos obtidos pelos agentes que operaram de acordo com o índice, para $f = 0,9$ e $t = 0$

Serão mostrados agora resultados obtidos para uma simulação com valores de $f=0,5$ e de $t=0,9$. Ou seja, nesta simulação 90% dos agentes com piores retornos são substituídos a cada dia, o que coloca esta simulação em um outro extremo em relação às simulações anteriores, quando nenhum agente foi trocado. Como se pode ver nos gráficos 4.3.9 e 4.3.10, a substituição dos agentes fez com que o preço do ativo subisse bastante durante esta simulação. E isto ocorre porque quando entram novos agentes fundamentalistas (em substituição aos agentes que saíram), os mesmos têm o seu preço fundamentalista calculado com base em uma distribuição normal cuja média é igual ao preço atual do ativo. Assim, caso o preço do ativo tenha subido, então os novos agentes que entraram possuirão preços fundamentalistas mais altos, o que acaba por gerar uma retroalimentação na formação dos preços. E esta retroalimentação também é reforçada pela atuação dos agentes grafistas, que se baseiam apenas nos preços anteriores do ativo para estimarem os seus preços de oferta. É possível verificar também que o volume de transações efetuadas por dia nesta simulação foi bem mais elevado em relação às simulações anteriores.

Nos gráficos 4.3.11 e 4.3.12 pode-se notar que, nesta simulação, os agentes que operaram segundo o índice obtiveram as suas piores performances quando comparados com as duas simulações anteriores, realizando também um número baixo de operações no período.

Gráfico 4.3.9 – Histórico de preços e do índice para $f = 0,5$ e $t = 0,9$

Gráfico 4.3.10 – Histórico de preços e dos volumes diários negociados para $f = 0,5$ e $t = 0,9$

Gráfico 4.3.11 – Número de operações dos agentes que operaram de acordo com o índice, para $f = 0,5$ e $t = 0,9$

Gráfico 4.3.12 – Retornos obtidos pelos agentes que operaram de acordo com o índice, para $f = 0,5$ e $t = 0,9$

A apresentação dos resultados para estas três simulações iniciais, cujos valores de f e de t são mais distantes entre si, teve como objetivo a intenção de se procurar demonstrar de que forma os valores estipulados para os parâmetros f e t podem afetar a maneira com que os preços do ativo oscilam ao longo da simulação e também o volume de operações que ocorrem no período. E isto, consequentemente, também afeta o desempenho dos agentes que utilizam o índice proposto para operar no mercado. Dada esta dependência verificada dos principais indicadores do modelo em relação aos valores de f e de t , foram então rodadas simulações utilizando-se diferentes combinações de valores para f e t , com cada simulação abrangendo um período de 500 dias de negociações. O valor de t foi variado de 0 (quando nenhum agente é trocado) até 1 (quando todos os agentes são trocados), com intervalos de

0,1 entre cada valor. E o mesmo foi feito com os valores do parâmetro f , o que nos dá um total de 121 simulações utilizando pares diferentes de f e t . Para cada uma destas simulações foi calculado o retorno médio dos agentes que utilizaram o índice para operar, o retorno geral dos preços do ativo no período e também os volumes diários médios negociados pelos agentes do modelo de livro de ordens. Ressalta-se que as operações dos agentes que operaram no mercado utilizando o índice não foram computadas nestes volumes diários e também não afetaram o movimento dos preços do ativo nestas simulações. O mesmo se deu nas simulações anteriores mostradas até aqui. Visando se obter uma maior precisão nos dados finais, foi também estipulado que cada uma destas simulações, com o seu respectivo par de valores para f e t , fosse executada 50 vezes. E os dados finais foram obtidos por meio do cálculo da média dos valores resultantes das 50 simulações realizadas, para cada par de valores de f e t .

Esta série de simulações teve como objetivo principal verificar de que forma os valores de f e de t podem afetar os principais indicadores do modelo, no caso: o retorno médio obtido pelos agentes que operam de acordo com o índice, o volume médio diário de negociações e o retorno geral do preço do ativo no período. Os resultados finais desta série de simulações se encontram nos gráficos 4.3.13 a 4.3.17. Os valores completos dos resultados constantes nesta série de gráficos podem ser consultados no apêndice B do trabalho.

Gráfico 4.3.13 – Volumes médios diários negociados (como uma razão do *free float*), de acordo com os parâmetros f e t

A partir da leitura do gráfico 4.3.13 é bastante fácil perceber que à medida que o valor de t aumenta, o volume de transações dos agentes também tende a aumentar, atingindo uma certa estabilização quando t passa de 0,6. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que a troca de agentes durante a simulação favorece uma maior variação do preço do ativo, pois os

novos agentes utilizam valores diferentes dos agentes já existentes para definirem os seus preços de oferta no mercado. E isso vale tanto para agentes fundamentalistas quanto grafistas. Uma maior variação de preços permite que um maior número de ordens de compra e de venda sejam cumpridas (ou executadas), pois ela faz com que a trajetória dos preços do ativo passe a ter mais chances de atingir os valores dos preços das ordens que estão em posições mais extremas dos livros de ordens, com preços mais elevados (ou mais baixos). Em relação à influência do valor do parâmetro f nos volumes, não foi detectada, nesta série de simulações, nenhuma influência significativa.

Gráfico 4.3.14 – Retornos médios dos preços do ativo no período, de acordo com os parâmetros f e t

Quanto à influência dos parâmetros f e t nos retornos gerais dos preços do ativo no período, percebe-se, a partir do gráfico 4.3.14, que os retornos tendem a ser menores para valores mais baixos de f e de t (chegando a ficarem negativos nesta área do gráfico) e maiores para os valores baixos de f e altos de t . Esta variação maior dos preços do ativo para valores baixos de f pode ser explicada pela forma como os agentes grafistas atuam no mercado, levando em conta apenas os preços passados do ativo para fins de ofertas de compra e de venda. Este não atrelamento do preço do ativo a nenhum fator externo faz com que o mesmo apresente variações com tendências mais prolongadas, tanto para cima quanto para baixo, o que não ocorre quando existem mais agentes fundamentalistas atuando no mercado.

Gráfico 4.3.15 – Retornos médios obtidos pelos agentes que operaram no mercado utilizando o índice proposto, de acordo com os parâmetros f e t

Os retornos médios obtidos pelos agentes que operaram no mercado de acordo com o índice proposto apresentaram grandes variações entre si, com um mínimo de -8,5%, para $f=0,6$ e $t=1,0$, e um máximo de 210,7%, para $f=0,9$ e $t=0,0$. Por essa razão, foi optado por se efetuar uma normalização dos seus valores por meio de uma escala logarítmica antes de se gerar o seu gráfico. Pelo gráfico 4.3.15, percebe-se que os retornos maiores obtidos pelos agentes se deram para valores menores de t e para valores maiores de f . No gráfico 4.3.16 esta tendência pode ser percebida com mais clareza.

Gráfico 4.3.16 – Retornos médios obtidos pelos agentes que operaram no mercado utilizando o índice proposto, de acordo com os parâmetros f , para (a) $t=0$, (b) $t=0,3$, (c) $t=0,5$ e (d) $t=0,7$

A influência positiva dos valores de f pode ser explicada pelo fato de que os agentes fundamentalistas, como foi visto anteriormente, funcionam como uma espécie de “âncora” para os preços do ativo, fazendo com que os mesmos flutuem mas também retornem a um nível que seria aquele considerado o nível “justo” de preços para o ativo (de acordo com os seus respectivos preços fundamentalistas). Enquanto que os agentes grafistas não possuem um valor de preço do ativo externo aos preços do mercado para fins de comparação, uma vez que as suas operações são baseadas estritamente no histórico de preços. Este tipo de movimento mais “pendular” dos preços, resultante da atuação dos fundamentalistas, está de acordo com resultados encontrados por Lux e Marchesi (1999), e que também foram obtidos a partir de um mercado simulado estilizado. A presença desta característica no movimento dos preços favorece o uso do índice para fins de investimento, pois permite aos investidores realizarem um maior número de operações de compra quando o índice está nos seus valores mais baixos (perto de -1) e de venda quando o índice está nos seus valores mais altos (perto de +1). Nestes casos, os valores do índice, que acompanham as oscilações do preço do ativo respeitando os limites da faixa entre -1 e +1, oscilam menos na sua faixa intermediária (com valores em torno de zero), e se alternam mais entre os valores extremos do índice, permitindo portanto a realização de um maior número de operações aos investidores que operam com o índice.

Uma explicação semelhante pode ser feita para se entender a influência negativa da troca dos agentes durante a simulação sobre a performance dos agentes que operaram de acordo com o índice. À medida que os agentes do modelo são trocados, a “memória” dos preços do ativo vai se perdendo e, com isso, a tendência dos preços do ativo retornarem aos seus valores anteriores vai diminuindo. E isso faz com que os valores do índice passem a oscilar por mais tempo nas áreas mais extremas do mesmo (próximos de +1 para ativos em alta e próximos de -1 para ativos em baixa). Quando os valores do índice oscilam pouco, permanecendo mais tempo em uma região acima ou abaixo de zero, então o uso do índice passa a não ser aconselhável. Nestes casos, ou o preço do ativo está em um período de alta bastante prolongado ou então ele está em um período de baixa bastante prolongado. No primeiro caso, bastaria ao investidor “comprar e esperar” para obter lucro. E, no segundo caso, o investidor, obviamente, não deveria comprar este ativo.

Em relação à diferença entre os retornos obtidos de acordo com os valores dos parâmetros utilizados para operar o índice, nesta série de simulações foi encontrado um resultado oposto ao encontrado com a utilização de dados reais de ações, verificado no capítulo 3. O gráfico 4.3.17 mostra que os agentes que utilizaram valores de parâmetros menores para operacionalização do índice no geral obtiveram retornos maiores.

Gráfico 4.3.17 – Retornos médios obtidos pelos agentes de acordo com os parâmetros utilizados para operacionalização do índice e de acordo com o valor de f , para (a) $t=0$, (b) $t=0,3$, (c) $t=0,5$ e (d) $t=0,7$

Com a leitura deste último gráfico do trabalho, convém se salientar, mais uma vez, que o uso do índice proposto seria indicado para a realização de operações de curto e de médio prazo, visando se aproveitar os períodos intermediários de baixa e de alta nos preços do ativo. E, também, que este ativo em questão deve, necessariamente, apresentar bons fundamentos; de tal forma que não sejam esperadas grandes variações para os seus preços de mercado durante o período estimado de investimento.

Capítulo 5

Conclusões e perspectivas futuras

Neste trabalho foi apresentado um modelo para análise de preços de ações que possui como principal diferencial o fato de levar em conta os seus volumes históricos negociados, além dos seus preços históricos. Até a presente data, já foi comprovado, por meio de trabalhos publicados anteriormente que fizeram uso de tratamentos estatísticos de dados históricos do mercado financeiro, que existe uma correlação positiva entre os volumes e as variações de preços dos ativos. Todavia, ainda não existe um modelo unificado, que leve em conta a variável “volumes históricos negociados” para fins de análise de preços de ações. E é justamente esta lacuna que este modelo visa preencher.

O modelo aqui apresentado foi aplicado a dados históricos de três ações da bolsa de valores de São Paulo (Bovespa) e, por meio de testes realizados fazendo-se uso de simulação por agentes, foi capaz de demonstrar um nível de aplicabilidade que poderia ser considerado bastante satisfatório, dada a grande otimização de performance financeira verificada entre os agentes que operaram duas destas ações (JBSS3 e MRFG3) baseando-se, exclusivamente, no comportamento do índice proposto. Em relação à terceira ação testada (OGXP3), a performance dos agentes que utilizaram o índice não foi considerada boa, e a razão para este mau desempenho foi investigada mais a fundo posteriormente, utilizando-se um mercado financeiro estilizado, com base em um modelo de livro de ordens (*order book*).

Com os resultados obtidos com base em um modelo de livro de ordens, foi possível se verificar de que forma alguns fatores que são inerentes ao mercado de ações podem afetar o desempenho de um investidor que utilize o índice proposto para efetuar as suas transações. Foram analisados, de uma forma estilizada, dois fatores que são inerentes ao mercado de ações e de que forma estes fatores influenciam a trajetória de preços do ativo. São eles: (1) as diferenças entre as estratégias dos investidores fundamentalistas e grafistas e (2) as variações que ocorrem, ao longo do tempo, nas diferentes avaliações de preço do ativo feitas pelos investidores, a fim de estipularem os seus preços de oferta para aquele ativo.

Foi verificado que o uso do índice é mais indicado para investimento em ativos cujos preços oscilam de uma forma mais “pendular”, ou seja, que alternam tendências de alta e de baixa no curto e no médio prazos. E que esta característica de alternância de tendências de alta e de baixa dos preços, ao longo do tempo, costuma ocorrer devido à função exercida pelos investidores fundamentalistas do mercado que, quando o preço do ativo se distancia muito do seu preço que seria considerado “justo”, passam então a exercer uma pressão (para cima ou para baixo) a fim de que os preços de mercado do ativo retornem a patamares anteriores, mais próximos do “preço justo” do ativo (Lux e Marchesi, 1999). Foi visto também que ativos cujos preços fundamentalistas podem sofrer grandes oscilações ao longo do período não são indicados para a aplicação do índice, uma vez que o mesmo visa a realização de operações no curto e no médio prazos, aproveitando-se das variações intermediárias de alta e de baixa que ocorrem nos preços.

Dados os resultados que foram obtidos, acredita-se que o uso deste modelo pode ser de grande serventia para auxiliar investidores a definir intervalos de preços mais apropriados para a realização de operações de compra e de venda de ações no mercado financeiro, ampliando assim o seu leque de ferramentas disponíveis dentro da chamada “análise técnica” dos preços de ações, que leva em conta dados históricos de preços e de volumes negociados. Não se pretende, aqui, que este modelo seja utilizado como única fonte de análise para fins de investimento em ações, uma vez que, como já é bastante estabelecido no mercado de ações, a chamada análise fundamentalista ainda é e, provavelmente, continuará sendo a principal fonte de informações para o investidor financeiro. Notavelmente para aqueles que visam um investimento mais a longo prazo quando optam por adquirir ações de uma determinada empresa. O tipo de análise para a qual este modelo pretende contribuir seria a análise técnica, que é mais voltada para investidores de curto e médio prazos, ou seja, para aqueles que visam realizar seus lucros de uma forma mais rápida, e que, para isso, também geralmente estão dispostos a assumir mais riscos.

Como perspectivas para possíveis aprimoramentos do modelo, podemos mencionar a questão da forma como foi realizada a distribuição das ordens de venda para os novos volumes que são negociados no modelo, a fim de se atualizar os volumes estimados já existentes. Neste trabalho foi optado por se fazer uso de uma distribuição proporcional aos valores dos volumes já existentes. Porém, nada impede que outros tipos de distribuição das ordens de venda sejam testados, sempre com o objetivo de se procurar chegar mais perto daquele que seria o tipo de distribuição de ordens de venda que costuma ocorrer no mercado real. Quanto mais realística for a distribuição utilizada no modelo, então mais realísticos também serão os dados finais fornecidos pelo mesmo, a respeito dos volumes restantes estimados de acordo com os seus respectivos preços passados de compra.

Referências bibliográficas

- [1] ALEXANDRE, M.; FERREIRA, F. F. e RODRIGUES NETO, C. **Livro de Ofertas e Dinâmica de Preços: Evidências a Partir de Dados da Bovespa**. Universidade de São Paulo, 2013.
- [2] BACHELIER, L. **Théorie de la Spéculation**. Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure 3, 17, p. 21–86, 1900.
- [3] BONABEAU, E. Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, vol. 99, no. Suppl 3, p. 7280-7287, 2002.
- [4] BM&FBOVESPA. Disponível em <<http://www.bmfbovespa.com.br>>. Acesso em 22 de março de 2013.
- [5] BOUCHAUD, J. P. et al. Statistical Properties of Stock Order Books: Empirical Results and Models. **Quantitative Finance**, v. 2, n. 4, p. 251-256, 2002.
- [6] BUCHANAN, M. **The Social Atom: Why the Rich Get Richer, Cheaters Get Caught, and Your Neighbor Usually Looks Like You**. New York: Bloomsbury Press, 2007.
- [7] CHALLET, D.; MARSILI, M. e ZHANG, Y-C. Modeling Market Mechanism with Minority Game. **Physica A**, v. 276, p. 284-301, 2000.
- [8] CLARK, P. K. A Subordinated Stochastic Process Model with Finite Variance for Speculative Prices. **Econometrica**, v. 41, p. 135-155, 1973.
- [9] CROSS, R. et al. Threshold Model of Investor Psychology. **Physica A**, 354, p. 463-478, 2005.
- [10] CROUCH, R. L. A Nonlinear Test of the Random-Walk Hypothesis. **American Economic Review**, 60, p. 199-202, 1970.
- [11] _____. The Volume of Transactions and Price Changes on the New York Stock Exchange. **Financial Analysts Journal**, 26, p. 104-109, 1970.
- [12] DALBAR, Inc. **Quantitative Analysis of Investor Behavior**. Boston, MA, 2012.
- [13] FAMA, E. F. The Behavior of Stock Market Prices. **Journal of Business**, 38, p. 34–105, 1965.
- [14] _____. Efficient Capital Markets: a Review of Theory and Empirical Work. **Journal of Finance**, 25, p. 383-417, 1970.
- [15] GODFREY, M. D.; GRANGER, C. W. J. e MORGENSTEIN, O. The Random Walk Hypothesis of Stock Market Behavior. **Kyklos**, 17, p. 1-30, 1964.
- [16] GRANGER, C. W. J.; MORGENSTEIN, O. Spectral Analysis of New York Stock Market Prices. **Kyklos**, 1, p. 1-27, 1963.
- [17] HARRIS, L. **The Joint Distribution of Speculative Prices and of Daily Trading Volume**. Univ. of Southern, CA, 1983.
- [18] _____. **Transactions Data Tests of the Mixture of Distributions Hypothesis**. Univ. of Southern, CA, 1984.
- [19] _____. Cross-Security Tests of the Mixture of Distributions Hypothesis. **Journal of Financial and Quantitative Analysis**, 21, p. 39-46, 1986.

- [20] HARRIS, L.; GUREL, E. Price and Volume Effects Associated with Changes in the S&P 500 List: New Evidence for the Existence of Price Pressures. **Journal of Finance**, 41, p. 815-829, 1986.
- [21] KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect Theory: an Analysis of Decision Under Risk. **Econometrica**, v. 47, n. 2, p. 263-291, 1979.
- [22] _____. The Framing of Decisions and Psychology of Choice. **Science**, v. 211, p. 453-458, 1981.
- [23] _____. The Psychology of Preferences. **Scientific American**, v. 146, 1982.
- [24] KARPOFF, J. M. The Relation between Price Changes and Trading Volume: A Survey. **The Journal of Financial and Quantitative Analysis**, v. 22, 1, p. 109-126, 1987.
- [25] LUX, T.; MARCHESI, M. Scaling and Criticality in a Stochastic Multi-Agent Model of a Financial Market. **Nature**, 397, p. 493–500, 1999.
- [26] MANDELBROT, B. B; HUDSON, R. L. **The (Mis)behavior of Markets: A Fractal View of Risk, Ruin & Reward**. New York: Basic Books, 2004.
- [27] MASLOV, Sergei; MILLS, Mark. Price Fluctuations from the Order Book Perspective – Empirical Facts and a Simple Model. **Physica A**, v. 299, p. 234-246, 2001.
- [28] OSBORNE, M. F. M. Brownian Motion in the Stock Market. **Operations Research**, 7, p. 145-173, 1959.
- [29] POTTERS, M.; BOUCHAUD, J. P. More Statistical Properties of Order Books and Price Impact. **Physica A**, v. 324, p. 133-140, 2003.
- [30] SAMUELSON, P. Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly. **Industrial Management Review**, Vol. 6, No. 2, p. 41–49, 1965.
- [31] SIMON, H. **Models of Man: Social and Rational**. New York: John Wiley & Sons, 1957.
- [32] TAUCHEN, G.; PITTS, M. The Price Variability-Volume Relationship on Speculative Markets. **Econometrica**, 51, p. 485-505, 1983.
- [33] UOL COTAÇÕES. Disponível em <<http://economia.uol.com.br/cotacoes>>. Acesso em 22 de março de 2013.
- [34] YAHOO FINANÇAS. Disponível em <<http://br.financas.yahoo.com>>. Acesso em 22 de março de 2013.
- [35] YING, C. C. Stock Market Prices and Volume of Sales. **Econometrica**, 34, p. 676-686, 1966.

Apêndice A – Tabelas com os *free floats* utilizados nos testes com dados reais

Resumo dos valores utilizados como *free floats* (volumes totais) e as suas possíveis variações ao longo do tempo, para cada ação utilizada nos testes.

JBSS3

Período	2007.1	2007.2	2008	2009	2010	2011	2012
Free float	132.093.800	252.831.023	290.910.931	281.146.975	451.578.436	431.234.010	427.823.928

MRFG3

Período	2007.1	2007.2	2008	2009	2010	2011	2012
Free float	56.555.562	60.030.006	93.512.440	156.767.350	156.928.326	157.089.926	157.089.926

OGXP3

Período	2008	2009	2010	2011	2012
Free float	1.234.496.928	1.234.496.928	1.234.496.928	1.234.496.928	1.234.496.928

Apêndice B – Tabelas com os resultados obtidos por meio do modelo de livro de ordens

Volumes médios diários negociados, em porcentagem do *free float*

		f										
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
t	0,0	6,3	5,4	4,7	6,5	3,4	6,0	3,8	4,0	5,3	7,0	2,9
	0,1	5,8	4,9	5,0	5,4	5,0	4,7	4,4	5,3	4,9	3,4	5,5
	0,2	8,4	9,2	7,1	8,5	7,6	8,1	8,6	8,4	9,0	8,6	8,3
	0,3	11,0	10,2	10,3	11,7	10,0	11,9	11,3	12,5	11,7	9,9	10,8
	0,4	9,9	8,9	11,6	12,4	11,6	12,6	11,4	13,0	11,0	14,6	15,0
	0,5	12,0	12,6	12,4	12,8	13,7	12,9	12,2	12,9	12,2	14,9	16,0
	0,6	14,1	13,0	13,7	13,8	13,6	13,8	14,0	12,7	14,5	14,7	15,4
	0,7	15,3	15,1	14,0	13,3	14,7	12,5	13,1	13,5	13,5	12,6	11,8
	0,8	13,1	13,8	12,2	13,9	13,8	13,3	12,7	14,0	12,8	13,5	13,4
	0,9	13,2	13,8	14,1	13,7	13,4	13,3	12,6	12,2	12,9	12,3	12,9
	1,0	13,3	13,5	13,3	13,3	13,2	13,1	13,0	12,4	12,5	11,7	11,7

Retornos médios dos preços do ativo no período

		f										
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
t	0,0	-26,9	-21,4	-17,1	-1,3	-1,0	-0,5	-0,3	0,3	-0,5	0,2	1,1
	0,1	-6,8	-2,8	-2,0	-1,9	-0,3	-2,1	0,9	0,4	0,5	0,3	-0,2
	0,2	-3,9	-2,6	0,3	0,6	0,5	-0,6	0,7	0,5	-0,1	1,9	0,1
	0,3	0,0	1,3	1,9	1,5	1,7	1,0	-1,0	0,7	1,6	0,6	-0,3
	0,4	9,8	10,5	8,8	6,9	5,1	3,2	0,2	0,2	1,5	2,1	1,3
	0,5	12,6	12,8	8,3	15,9	6,1	14,7	4,7	2,8	2,0	3,0	2,1
	0,6	21,4	16,7	23,9	18,2	20,8	8,9	5,4	4,4	3,0	3,1	3,7
	0,7	26,5	30,4	26,4	22,3	27,2	14,5	20,5	6,8	7,0	7,3	2,7
	0,8	22,9	25,7	27,5	23,6	28,4	11,9	8,9	7,3	10,6	4,5	3,4
	0,9	25,1	29,8	36,2	28,1	18,9	20,8	17,0	12,5	17,5	7,1	2,0
	1,0	22,1	21,9	21,2	22,3	18,9	17,7	9,3	15,7	3,8	-2,4	9,2

Retornos médios obtidos pelos agentes que operaram de acordo com o índice proposto

		f										
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
t	0,0	8,4	4,8	16,7	161,5	43,3	193,6	133,9	126,0	196,5	210,7	163,6
	0,1	4,0	8,0	8,7	15,3	18,1	11,5	29,4	20,3	25,7	42,0	26,4
	0,2	12,9	18,1	20,7	30,2	24,3	31,7	45,1	37,3	49,9	46,2	24,3
	0,3	28,8	33,5	28,2	35,9	31,6	48,6	39,8	47,6	46,0	36,6	48,0
	0,4	24,2	20,7	31,7	28,1	25,6	34,6	38,4	42,8	32,2	54,5	49,8
	0,5	26,1	20,5	27,6	23,4	33,9	28,9	34,9	33,6	31,8	37,3	43,7
	0,6	19,2	16,9	21,2	17,9	21,8	19,2	19,2	20,6	36,4	33,7	36,3
	0,7	19,6	17,1	12,2	13,3	10,5	11,0	10,3	14,7	15,2	18,5	33,6
	0,8	9,9	11,2	16,7	12,4	19,9	10,1	6,3	9,9	12,0	9,1	29,0
	0,9	8,9	11,5	10,4	9,7	13,9	13,7	2,7	10,9	6,2	2,4	8,5
	1,0	3,4	4,6	7,7	5,1	-3,3	-4,0	-8,5	24,2	7,6	-4,0	-2,4