

**Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital:
abrangência, significados e relações.**

**O desenvolvimento de uma estratégia automatizada de
negociação de ações**

Camilo Ilzo Shimabukuro¹

Prof. Dr. Napoleão Verardi Galeale²

Resumo – A inovação em tecnologia e conectividade entre os agentes do mercado acionário estimularam o surgimento de estratégias de negociação de ações baseadas em algoritmos na última década e meia. Neste contexto, apresenta-se uma organização do setor financeiro que implementou tais estratégias. O objetivo deste relato técnico é apresentar os componentes centrais de um sistema automatizado de negociação de ações, que busca obter retornos a partir das diferenças momentâneas entre preços de ações e de instrumentos denominados nessas ações em mercados distintos. O desenvolvimento deste sistema resultou em aumento da participação de mercado da instituição e posterior implementação de outras estratégias automatizadas.

Palavras-Chave: *Stock Trading, Algorithmic Trading, Automated Trading*

Abstract – Innovation in technology and connectivity among equity market players entailed the emergence of algorithm-based stock trading strategies over the past fifteen years. In this context, it is presented a financial services company that implemented these strategies. The aim of this technical report is to present the central components for the development of a specific stock trading algorithm, which search for returns from momentary gaps of price between stocks and instruments denominated in these stocks on distinct exchanges. The development of this automated system resulted in increase of market share and further implementation of other automated trading strategies.

Keywords: *Stock Trading, Algorithmic Trading, Automated Trading*

1. Introdução

As bolsas de valores têm como propósito oferecer capital às empresas a um custo mais baixo e de prazo mais longo do que o financiamento por emissão de dívida. O custo de capital é um insumo estratégico para uma empresa, afetando diretamente sua capacidade de investimento e competitividade. Entre as contrapartidas estão a divulgação periódica de balanços e demonstrativos, e a livre formação de preços de suas ações em ambiente de pregão. (RUDGE, 1998).

A formação de preços, que anteriormente acontecia nos pregões em viva voz, passou a se realizar de forma eletrônica ao longo da década de 1990, período em que se consolidaram as primeiras Redes de Comunicação Eletrônica (ECN - *Electronic Communication Networks*), como a NASDAQ (*National Association of Securities Dealers Automated Quotations*), e se criaram os meios de execução eletrônica de ordens nas bolsas de valores e futuros tradicionais como NYSE (*New York Stock Exchange*) e CME (*Chicago Mercantile Exchange*) (FRIEDFERTIG e WEST, 1998).

A inovação em tecnologia, processos e conectividade entre os agentes do mercado acionário criaram um ambiente propício para o surgimento de estratégias automatizadas. As organizações do setor passaram, de forma continuada e crescente, a investir em infraestrutura tecnológica, engenheiros de software e pesquisadores em matemática e estatística (HENDERSHOTT, JONES e MENKVELD, 2011; MIT TECHNOLOGY REVIEW, 2018).

A organização em análise, que atuava no setor institucional do mercado de capitais, buscava aumentar sua participação no segmento de renda variável, em meados de 2007, utilizando, entre outras abordagens, sistemas automatizados de negociação de ativos financeiros.

Este trabalho se justifica pela oportunidade de se examinar um processo intensivo em tecnologia, de aplicação específica e uso circunscrito a instituições e meios especializados, utilizando a abordagem científica e buscando estabelecer um canal entre a pesquisa e os setores produtivos.

O objetivo deste relato técnico é apresentar, sob o ponto de vista do desenvolvimento de software, os componentes centrais de um sistema de negociação de ações baseado em algoritmos, que busca obter retornos das diferenças momentâneas entre preços de ações e de instrumentos denominados nessas ações em mercados distintos. Esta intervenção resultou em aumento da participação de mercado da organização e posterior implementação de outras estratégias de negociação automatizadas.

2. Referencial Teórico

Johnson (2010) define a negociação por algoritmos (*algorithmic trading*) como um sistema baseado em regras que executa ordens de compra ou venda de um dado ativo. Utilizando o termo negociação quantitativa (*quantitative trading*), Chan (2009) se refere à negociação por algoritmos como decisões de compra e venda de ativos baseada estritamente em algoritmos de computadores projetadas, e às vezes programadas, por operadores de mercado (*traders*).

A negociação de ações baseada em computadores, contrariamente à visão de que implicaria em custos adicionais aos pequenos investidores, na realidade melhora a qualidade e a eficiência do mercado pelo aumento da liquidez, pela

diminuição das diferenças entre preços de compra e de venda (*spreads*), pela diminuição da volatilidade dos ativos e dos custos de transação, resultando em aumento do retorno para os investidores (KIRSCHNER, 2015)

Hendershott, Jones e Menkveld (2011), analisando o efeito da negociação por algoritmos na NYSE, concluíram que houve aumento da liquidez, redução nos custos de negociação e melhora na apreçoação de preços.

A negociação por algoritmos monitora mais ativamente a liquidez do mercado, comparada à atuação humana. Em estudos na bolsa de valores da Alemanha (*Deutsche Boerse*), a negociação por algoritmos apresenta a vantagem de consumir liquidez quando os *spreads* estão estreitos (baratos) e fornecer liquidez quando estão largos (caros) (HENDERSHOTT e RIORDAN, 2013).

Segundo Seo e Chai (2013), a negociação por algoritmos diminui consideravelmente a distorção de preços por ineficiência de informações, contribui para manter o equilíbrio entre preços dos mercados à vista e de futuros, removendo incertezas na aquisição de ações e aumentando a eficiência do mercado ao promover a liquidez dos ativos. Em artigo sobre o mercado de câmbio, Chaboud *et al.* (2014) afirmam que a negociação por algoritmos melhora a eficiência dos preços, a eficiência das informações e a liquidez do mercado, ainda que com possíveis efeitos adversos nos custos para operadores mais lentos, porém sem causar degradação na qualidade do mercado.

Ainda que apresente tais benefícios, cabe mencionar as preocupações dos órgãos reguladores do mercado quanto aos riscos e vulnerabilidades dessa modalidade de negociação, tomando-se como exemplo a queda abrupta de 6 de maio de 2010 (*Flash Crash*), quando o índice industrial Dow Jones despencou mais de 900 pontos em cinco minutos (EASLEY, PRADO e O'HARA, 2010)

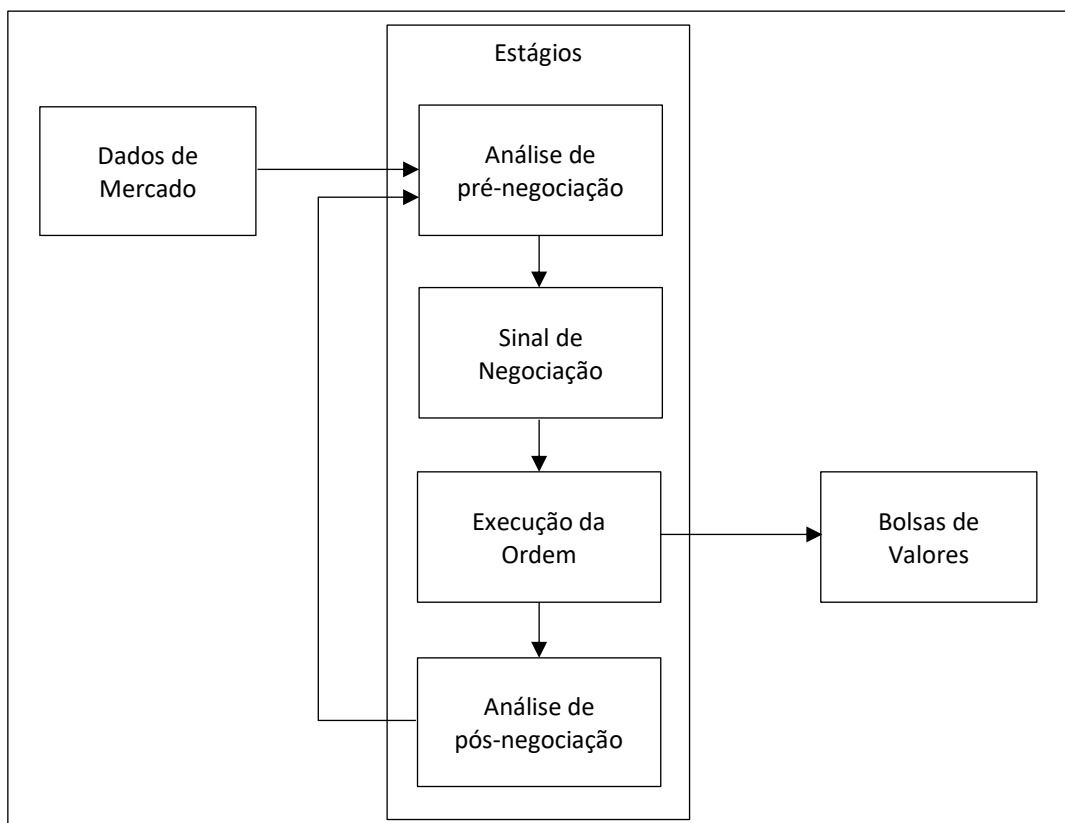
Para Nuti *et al.* (2011) os avanços tecnológicos na última década estimularam o surgimento de sistemas de negociação por algoritmos (*algorithmic trading* ou *automated trading*). Tais sistemas buscam capturar anomalias transitórias nos preços dos mercados, identificar padrões estatísticos, ou otimizar a execução de ordens de compra ou venda. Em 2011, o *algorithmic trading* respondia por cerca de cinquenta a sessenta por cento das ações negociadas nos Estados Unidos e Europa. Em 2009, a negociação em alta frequência (*high-frequency trading*) contabilizava sessenta por cento do volume negociado no mercado de ações americano, e está entre os maiores propulsores da inovação em computação e análise de dados (*analytics*), especialmente em aprendizado de máquina (*machine learning*) e computação distribuída em rede (*grid computing*).

Dentre as estratégias mais utilizadas no segmento institucional, pode-se destacar: *Portfolio Trading* ou *Program Trading*, estratégias que operam uma multiplicidade de ativos para ajuste ou balanceamento de carteiras buscando manter conformidade com um índice ou linha de investimentos; *High Frequency Trading*, que busca aproveitar discrepâncias momentâneas de preços, mantendo posição neutra quanto aos ativos; e *Execution Trading*, destinado à execução de grandes volumes, minimizando o impacto no mercado e os custos de transação, sendo usualmente operado nas modalidades: TWAP – *Time Weighted Average Price* (preço médio ponderado no tempo), VWAP – *Volume Weighted Average Price* (preço médio ponderado por volume), POV – *Percentage of Volume* (percentual do volume disponível), IS – *Implementation Shortfall* (diferença entre o preço escolhido e o de execução) e SOR – *Smart Order Routing* (roteamento inteligente de ordens, buscando liquidez nos mercados) (JOHNSON, 2010).

Visando uma melhor compreensão dos aspectos construtivos de um sistema automatizado de negociação de ações, pode-se dividi-lo em quatro módulos: análise de pré-negociação, geração do sinal de negociação, execução da ordem e análise de pós-negociação (TRELEAVEN, GALAS e LALCHAND, 2013).

A análise de pré-negociação refere-se à análise dos dados de mercado dos ativos operados pela estratégia, como livros de oferta, preços e quantidades negociados, situação do ativo e eventos corporativos. A geração do sinal de negociação estabelece os parâmetros das ordens de compra ou venda em função da estratégia adotada, dos dados de mercado, dos custos envolvidos e do retorno esperado. O módulo de execução administra o envio das ordens às bolsas por meio de parâmetros estabelecidos na geração do sinal de negociação, conexões com as bolsas e processos de recuperação das posições em casos de interrupção. A pós-negociação avalia os resultados da transação comparada aos valores esperados, identifica exposições remanescentes e realimenta o módulo de pré-negociação (NUTI *et al.*, 2011). Os quatro módulos principais de um sistema de *algorithmic trading* são mostrados na figura 1.

Figura 1 - Estágios do *algorithmic trading*



Fonte: adaptado de Treleaven, Galas e Lalchand (2013)

3. Método

O contexto deste projeto é o de uma organização que buscava aumentar sua participação no segmento de renda variável institucional implementando estratégias de negociação automatizadas, muito utilizadas em mercados como Estados Unidos e Europa, e em crescente uso pelos líderes do mercado local.

Para a compreensão do escopo deste trabalho descrevem-se aspectos da organização e do projeto (BIANCOLINO, 2012).

A organização é de natureza privada, estrangeira, de capital aberto e listada em bolsa de valores. O setor de atividade é o de serviços financeiros, atuando nos segmentos de banco de investimento, renda fixa, renda variável e câmbio. A empresa é considerada de grande porte, com mais de 1.000 colaboradores no Brasil e presença global com mais de 30.000 colaboradores no mundo.

Quanto à estrutura organizacional, a empresa segue padrões de gerenciamento de projetos e de segurança da informação adequados, e dispõe das demais estruturas formais próprias de grandes organizações.

O sistema proposto, denominado “estratégia automatizada de negociação de ações”, visava obter retornos de discrepâncias eventuais e temporárias de preços de ações entre mercados. A iniciativa foi autorizada pela diretoria da área de negócios e o financiamento estabelecido mediante orçamento aprovado pela organização. A situação problema era a busca de aumento da participação de mercado, a melhoria do posicionamento competitivo comparativamente aos líderes do mercado, compatível com o porte da empresa e a necessidade estratégica de atualização tecnológica local no segmento específico.

O trabalho em análise demandou a participação de profissionais das áreas de desenvolvimento de sistemas, infraestrutura de tecnologia, segurança de redes, gerenciamento de projetos, processamento pós-operacional, risco financeiro, contabilização de resultados, conformidade às regras (*compliance*), assuntos jurídicos, diretorias operacionais, mesa de operações proprietária (*traders*) e a diretoria responsável pela área de negócios.

A intervenção consistiu no desenvolvimento e implementação de um sistema automatizado de negociação de ações na modalidade de arbitragem, que identifica discrepâncias transitórias de preços de ativos negociados em diferentes bolsas de valores, neste caso, um conjunto de ações negociadas na B3, e suas ADRs (*American Depositary Receipts*) listadas na bolsa de Nova York, NYSE. ADRs são recibos de depósitos lastreados em ações não americanas, emitidos por bancos americanos e negociáveis nos Estados Unidos (REVERRE, 2001).

O sistema compreende quatro módulos principais: receptores de dados de mercado (análise de pré-negociação), núcleo de decisão de negociação (sinal de negociação), gerenciamento e roteamento de ordens (execução de ordens) e controle de posições (análise pós-negociação).

O módulo dos receptores de dados de mercado se conectam às fontes de dados, filtram as informações que interessam à estratégia e atualizam uma tabela em memória volátil (RAM) com as informações dos ativos, como estado do papel, ordens de compra e venda, e negócios realizados, por meio de classes geradoras de eventos.

O módulo do núcleo de decisão de negociação estabelece a forma de atuação da estratégia, definindo preços e quantidades das ordens.

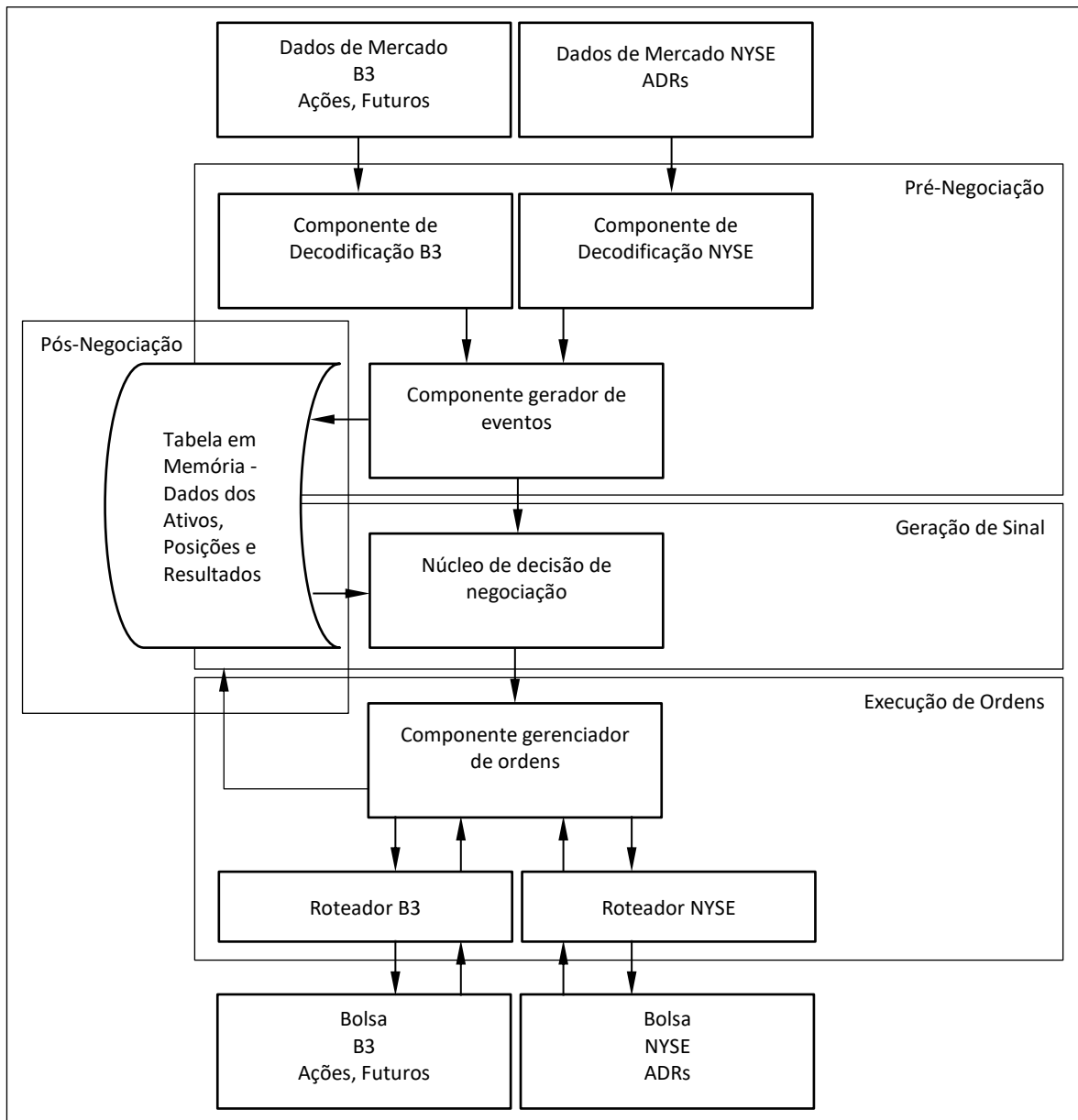
O módulo de execução de ordens consiste no componente de gerenciamento e de roteamento. O componente de gerenciamento possui métodos para envio, alteração e cancelamento de ordens, atualização da tabela de memória, e eventos para recepção de *status*, preços e quantidades executadas, e se conecta aos componentes roteadores. Os componentes roteadores se conectam aos endereços/portas (*Fix gateways*) das bolsas-destino pelo protocolo Fix, em geral por meio de linhas de fibra ótica visando uma maior velocidade de transmissão (baixa latência) (GUO *et al.*, 2017). Cabe aos roteadores parametrizar as

configurações para as bolsas, estabelecer sessões de conexão, e controlar o risco de execução, bloqueando valores que ultrapassem os limites operacionais da instituição.

O módulo de controle de posições (análise de pós-negociação), gerencia os dados de ativos, armazenando as quantidades executadas, os preços médios e as quantidades a executar na tabela de memória.

A interdependência dos módulos, as conexões dos componentes, e o fluxo das informações por meio de métodos e eventos são mostrados na figura 2.

Figura 2 - Módulos principais e componentes do sistema de negociação automatizada



Fonte: autores

O tratamento dos dados de mercado, pelo considerável volume e pela criticidade quanto ao adequado funcionamento do sistema, merecem atenção quanto às suas especificidades. Os dados de mercado devem ser obtidos mediante a contratação de fornecimento de sinal e tratadas por classe de ativos: ações da B3, futuros da B3 e ADRs da NYSE.

Os dados de mercado da B3 são disponibilizados pela plataforma UMDF (*Unified Market Data Feed*), com alta disponibilidade, sincronização e recuperação de mensagens; baseado no protocolo FIX 5.0, transmitido via UDP (*User Datagram Protocol*), composto por canais *multicast*, cada qual fornecendo dados para um conjunto de instrumentos (B3, 2018a). O FIX Protocol (*Financial Information eXchange Protocol*) é um padrão de mensagens amplamente utilizado pela comunidade financeira e foi estabelecido por um consórcio internacional, o FIX Trading Community™, com a participação de agências reguladoras, bolsas de valores, corretoras e investidores institucionais (FIX TRADING, 2018).

A tabela 1 apresenta um exemplo simulado de dado de mercado fornecido pela B3 na forma de um livro de ofertas de uma ação fictícia, em que se apresentam as quantidades e preços de compra (esquerda) e de venda (direita).

Tabela 1 – Exemplo simulado de livro de ofertas

Nome da Ação: AAAA3			
Compras		Vendas	
Quantidade	Preço	Preço	Quantidade
300	14,27	14,29	1,500
1.700	14,19	14,97	2,600
2.500	13,85	15,17	4,200
10.100	13,02	15,45	12,100

Fonte: autores

Um outro exemplo de dado de mercado é a lista de negócios realizados de uma ação fictícia, conforme dados simulados na tabela 2.

Tabela 2 – Exemplo simulado de lista de execuções

Nome da Ação: AAAA3			
Natureza	Quantidade Executada	Preço Médio	Horário
Compra	6.500	14,2767	9:30:07
Venda	700	14,2923	10:05:51
Venda	2.800	14,2878	11:41:11
Compra	1.100	14,2792	15:25:31

Fonte: autores

A tabela 3 apresenta, como exemplo, o volume diário de mensagens e consumo de dados de alguns contratos do mercado de futuros na B3.

Tabela 3 – Volume diário de Market Data do segmento de Futuros do sinal UMDF em 11-06-2018

Canal Futuros Produtos	Mensagens	Max MPS (msgs/seg)	Max Banda estimada (Mbps)	Pico Mensagens 09:49:46	
				MPS (msgs/seg)	Banda (Mbps)
				7514	4,5153
Dólar	2.306.586	1.959	1,1783	319	0,1984
Juros	3.275.591	6.959	4,1170	6.842	4,1170
Ibovespa	4.619.357	2.543	1,7942	294	0,1653

Fonte: adaptado de B3 (2018b)

A tabela 4 apresenta o volume de mensagens e o consumo de dados de mercado de um determinado dia na B3, agrupados por segmento de forma a distribuir as mensagens pelos canais *multicast*.

Tabela 4 – Volume diário de Market Data do segmento de Ações do sinal UMDf em 11-06-2018

Canal Ações Setores	Mensagens	Max MPS (msgs/seg)	Max Banda estimada (Mbps)	Pico Mensagens 13:07:10	
				MPS (msgs/seg)	Banda (Mbps)
				22.173	14,2076
Minério-ações	610.735	649	0,5227	649	0,4268
Minério-opções	5.115.982	6.096	3,6873	3.131	1,8689
Petróleo-ações	440.617	578	0,5394	480	0,3630
Petróleo-opções	2.143.754	6.058	3,5101	2.958	1,8397
Bancos-ações	3.070.509	1.634	1,0787	1.634	1,0787
Bancos-opções	3.738.292	4.192	2,6455	3.234	2,0194
Outros-ações	7.630.665	3.910	2,6781	3.910	2,5297
Outros-opções	4.734.694	6.056	3,9473	5.089	3,3145
Ibovespa-opções	1.581.170	1.299	0,9343	1.088	0,7669

Fonte: adaptado de B3 (2018b)

Em se tratando de um relato orientado ao desenvolvimento de software, cabe detalhar os aspectos da estrutura de componentes e do algoritmo.

As classes geradoras de eventos estão disponíveis em linguagens de programação que admitem orientação a objetos. Visando uma maior velocidade de acesso aos dados da tabela, as linhas são obtidas por uma *hash function*, função que codifica os atributos do ativo retornando a linha da tabela, minimizando o tempo de busca, comparativamente ao uso de algoritmos de pesquisa em tabela indexada (CORMEN, 2009).

A cada evento de atualização de dados de mercado, um método busca na tabela de memória os dados do ativo na outra bolsa na ponta contrária e do dólar futuro, converte o preço da ADR para reais, e identifica se há uma diferença positiva que possa gerar um lucro pré-determinado ao comprar (ou vender) a ação com preço menor (ou maior) numa bolsa e vender (ou comprar) a ação com preço maior (ou menor) na outra bolsa, considerando-se os custos de execução.

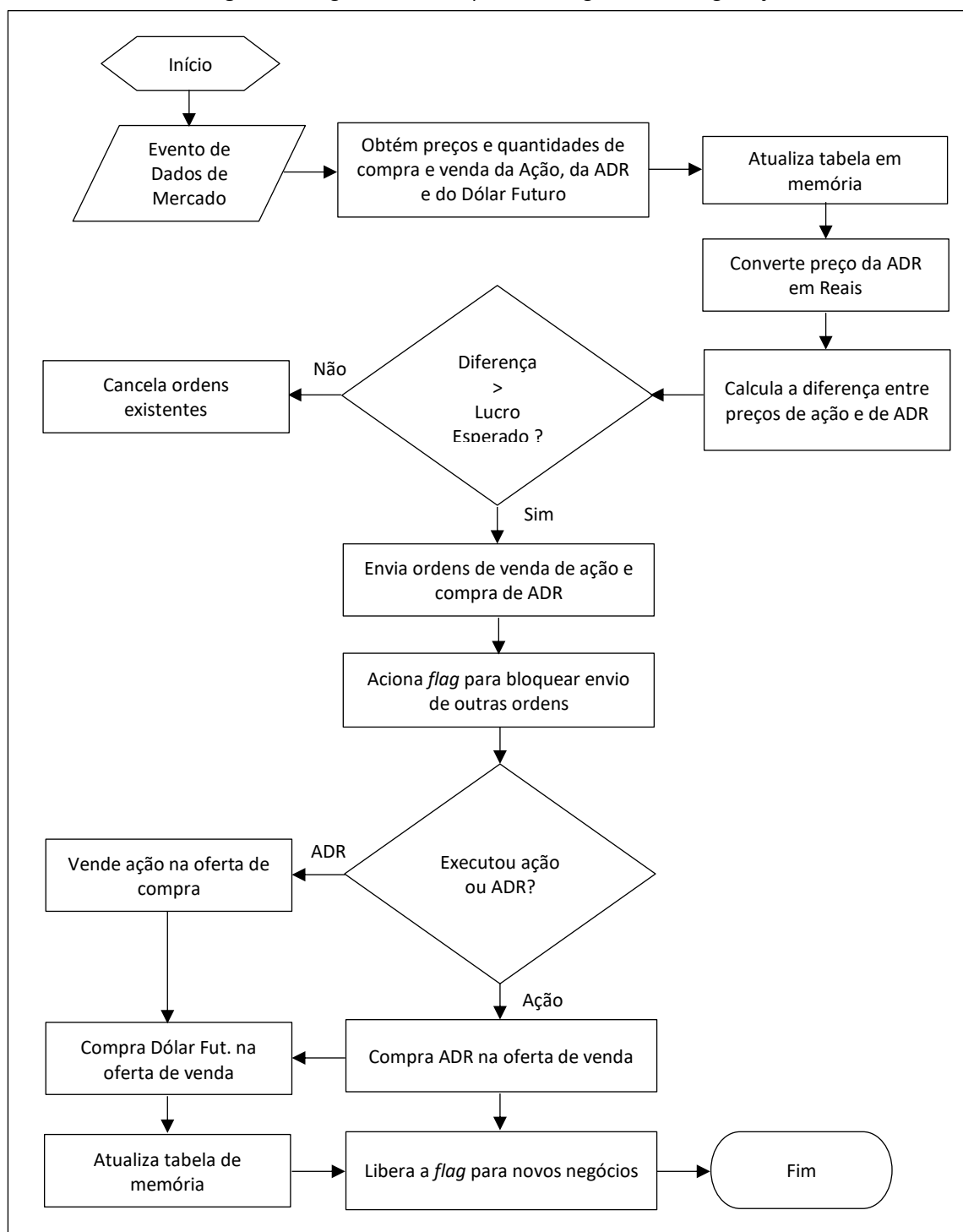
As ordens são colocadas como iscas aguardando serem agredidas ou cruzadas contra ordens de um investidor na ponta contrária. Os preços e quantidades são dinamicamente alterados em função das mudanças nos mercados. Se uma ordem for coberta por competidores, o algoritmo deve cobrir o preço do concorrente até o limite de lucratividade. Caso o concorrente retire sua oferta, o algoritmo restabelecerá o preço para o cobrir a melhor oferta disponível.

Assim que uma ordem for executada, o algoritmo trava o processamento de oportunidades, executa uma ordem na ponta contrária na outra bolsa contra o livro de ofertas, neutralizando a exposição em ações, e executa a ordem de dólar futuro para neutralizar a exposição cambial. Com as exposições neutralizadas o algoritmo libera o processamento de novas oportunidades (JOHNSON, 2010).

Esses passos expõem parte da multiplicidade de decisões que o algoritmo deve considerar para cumprir sua estratégia, buscando manter-se competitivo e maximizando os retornos.

A sequência de instruções do algoritmo de negociação citado é apresentada na figura 3.

Figura 3 - Diagrama de fluxo parcial do algoritmo de negociação



Fonte: autores

4. Resultados e Discussão

A implementação do sistema resultou em aumento na participação de mercado da instituição, cooperando para o seu posicionamento estratégico. A posição da instituição no ranking diário estava, anteriormente, abaixo da trigésima.

Com a estratégia, passou a figurar entre as vinte maiores, cooperando para a visibilidade da instituição e a atração de mais clientes.

Entre os fatores que contribuíram para a obtenção dos resultados pode-se citar a aplicação de algoritmos na geração de preços e quantidades, processamento dos dados em memória, uso de *hash functions* para localização das posições na tabela de memória, evitando-se a utilização de buscas indexadas e acessos a bancos de dados transacionais.

Os resultados obtidos pelo sistema atingiram os objetivos propostos pela organização e contribuíram para a destinação de mais investimentos em negociação eletrônica por meio da implementação de outras estratégias, como *Index Arbitrage*, *Delta Hedge* e *Market Making*.

5. Considerações Finais

Entre os textos pesquisados sobre negociação de ações por algoritmos, a abordagem deste relato, orientada ao desenvolvimento, é bem menos frequente do que as abordagens matemáticas e estatísticas. Nesse sentido acredita-se estar colaborando para que pesquisadores, em particular aqueles ligados à engenharia da computação, possam construir seus próprios modelos aproveitando os conceitos aqui apresentados.

É possível considerar-se que este modelo de desenvolvimento, de forma geral, possa ser aproveitado por outras instituições. Entretanto, quanto à estratégia específica analisada, recomenda-se que seja uma instituição de porte semelhante, preferencialmente com acesso aos mercados citados, baixos custos de transação e infraestrutura adequada.

Vale mencionar que, visando melhor desempenho, o módulo de decisão de negociação poderia utilizar ferramentas computacionais mais sofisticadas, como o processamento de eventos complexos (*CEP-Complex Event Processing*), cuja aplicação se estende a sistemas que utilizem grandes massas de dados trafegando em tempo real.

Outras possíveis abordagens são o uso de ferramentas de análise estatística preditiva e prescritiva, *machine learning*, análise comportamental e métodos heurísticos para estratégias não determinísticas; indicando, possivelmente, áreas de investigação e frentes de pesquisa promissoras.

Em face do exposto, tendo apresentado o projeto e a implementação do sistema alicerçado na fundamentação teórica, contextualizado no ambiente da organização e com o detalhamento dos componentes sob o ponto de vista do desenvolvimento, considera-se alcançado o objetivo deste relato.

Referências

B3. Conectividade. Disponível em www.bmfbovespa.com.br/pt_br/servicos/conectividade/solucoes-de-conectividade/. Acesso em 11 jun. 2018.

B3. Volume de market data. Disponível em bvmf.bmfbovespa.com.br/market-data/html/md_stats_20180611.html. Acesso em 11 jun. 2018.

BIANCOLINO, C. A.; KNISS, C.T.;MACCARI, E. A.; RABECHINI, R. Protocolo para Elaboração de Relatos de Produção Técnica. **Revista de Gestão e Projetos**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 294-307, 2012.

CHABOUD, A. P.; CHIQUOINE, B.; HJALMARSSON, E.; VEGA, C. Rise of the Machines: Algorithmic Trading in the Foreign Exchange Market. **The Journal of Finance**. v. 69, n. 5, 2014.

CHAN, E. P. **Quantitative trading: how to build your own algorithmic trading business**. New Jersey: Wiley, 2009

CORMEN, T. H. et al. **Introduction to Algorithms**. 3. ed. MIT Press, 2009.

EASLEY, D.; PRADO, M. M. L.; O'Hara, M. The Microstructure of the 'Flash Crash'. Flow toxicity, liquidity crashes and the Probability of Informed Trading. **The Journal of Portfolio Management**, v. 37, n. 2, p. 118-128, 2011.

FIX TRADING. FIX Protocol. Disponível em: <www.fixtrading.org>. Acesso em 07 jun. 2018.

FRIEDFERTIG, M.; WEST, G. **The Electronic Day Trader**. McGrawHill, 1998.

GUO, X.; LAI, T. L.; SHEK, H.; WONG, S. P. **Quantitative trading - Algorithms, Analytics, Data, Models, Optimization**. CRC Press. Taylor & Francis Group, 2017.

HENDERSHOTT, T.; JONES, C. M.; MENKVELD, A. J. Does Algorithmic Trading Improve Liquidity? **The Journal of Finance**. v. 66 n. 1, 2011.

HENDERSHOTT, T.; RIORDAN, R. Algorithmic Trading and the Market for Liquidity. **Journal of financial and quantitative analysis**. v. 48, n. 4, p. 1001–1024, 2013.

JOHNSON, B. **Algorithmic Trading & DMA – An introduction to direct access trading strategies**. London: 4MyelomaPress, 2010.

KIRCHNER, S. High Frequency Trading: Fact and Fiction. **Policy**. v. 31 n.4, 2015.

MIT TECHNOLOGY REVIEW. As Goldman Embraces Automation, Even the Masters of the Universe Are Threatened. Nanette Byrnes. 7 fev. 2017. Disponível em <www.technologyreview.com/s/603431/as-goldman-embraces-automation-even-the-masters-of-the-universe-are-threatened/>. Acesso em 7 jun. 2018.

NUTI, G.; MIRGHAEMI, M.; TRELEAVEN, P.;YINGSAEREE, C. Algorithmic trading. **Computer-IEEE Computer Society**, v. 44, n. 11, p. 61-69, 2011.

REVERRE, S. **The Complete Arbitrage Deskbook**. McGraw-Hill, 2001.

RUDGE, L. F. **Mercado de Capitais**. Belo Horizonte: p. 251, 265. CNBV, 1998.

SEO, J.; CHAI, S. The role of algorithmic trading systems on stock market efficiency. **Information Systems Frontiers**. New York: Springer, 2013.

TRELEAVEN P.; GALAS, M.; LALCHAND, V. Algorithmic Trading Review. **Communications of the ACM**. v. 56, n. 11, 2013.