

1 Introdução

O mercado financeiro mundial tem se desenvolvido muito rapidamente nos últimos anos. Os investidores experimentam grandes avanços, como modernos sistemas de negociação, provedores de informação em tempo real, grandes bases de dados com informações de diferentes negócios e mercados, entre outros.

O comportamento dos investidores e do mercado financeiro desperta o interesse de pesquisadores do mundo todo.

Com o aumento da capacidade de armazenamento e processamento de dados, houve um interesse crescente nos dados intra-diários (volume de transação, ágio de compra e venda, preço e tempo de duração entre as transações). Esses dados apresentam certos padrões de comportamento no mercado de ações que contradizem a hipótese de eficiência¹ do mercado.

Dois tipos de análise de ativos são amplamente usados por especialistas: a análise técnica, que tenta prever o comportamento das ações através do estudo de gráficos das séries históricas dos preços; e a análise fundamentalista, com foco no desempenho econômico do setor e da empresa do ativo em questão.

O número de métodos quantitativos como técnicas auxílio e suporte a tomada de decisão de investimentos vem aumentando significativamente. Os pioneiros nesta área são os modelos lineares, como, por exemplo, os modelos auto-regressivos e passeios aleatórios, porém não apresentaram desempenho satisfatório.

Com essa motivação, nos últimos anos, muitos modelos não lineares vêm sendo propostos. Na econometria clássica, os modelos de múltiplos regimes como (MR)STAR (Granger and Teräsvirta (1993)), vem ganhando espaço. Já na teoria

¹ O mercado de capitais é dito ser eficiente se os preços dos ativos refletem a correta e completa informação relevante disponível aos participantes do mercado. Esta hipótese de eficiência é construída na habilidade do mercado de coletar, agregar e divulgar informações. Os participantes do mercado realizam pesquisas e armazenam informações que são combinadas e agregadas num consenso do próprio mercado. Este valor é, então, revelado através do preço justo e divulgado a todos os investidores.

de aprendizado de máquina, os mais utilizados são as redes neurais artificiais e métodos de particionamento recursivo, principalmente as árvores de decisão.

A disponibilidade de dados de alta frequência (informação sobre o processo de fechamento das operações à medida que as mesmas vão sendo concluídas, negócio a negócio), incentivou o desenvolvimento de estudos e teorias sobre a volatilidade em séries temporais de finanças, que vem representando um papel importante nas teorias de apreçamento e controle de risco.

A busca por um arcabouço adequado para a estimação e previsão da variância condicional dos retornos de ativos financeiros, levou à definição da volatilidade realizada como a soma dos quadrados das realizações disponíveis em uma base de dados de alta frequência. Com isso, a volatilidade de séries financeiras de realizações passadas se torna, essencialmente, “observável”. Baseados nestes resultados, diversos estudos recentes vêm documentando as propriedades e os fatos estilizados de volatilidades realizadas, construídas a partir de dados de alta frequência.

Nesta dissertação, propõe-se uma aplicação do modelo STAR-Tree (Smooth Transition AutoRegression Tree), proposto por Rosa, Veiga e Medeiros (2008), para séries heterocedásticas de finanças. O modelo é especificado para a média e volatilidade realizada das séries.

O modelo STAR-Tree é uma combinação dos modelos STAR (Smooth Transition AutoRegression), proposto por Chan and Tong (1986), e aprofundado por Granger & Teräsvirta (1993); Teräsvirta (1994), e algoritmo CART (Classification and Regression Tree), proposto por Breiman et al (1984).

O modelo STAR pode ser visto como um modelo linear autoregressivo, onde os seus coeficientes são determinados pela posição do vetor de variáveis explanatórias dentro do denominado espaço de transição.

Já o algoritmo CART é apresentado na forma de árvore binária, cuja filosofia é utilizar modelos simples para sub-amostras dos dados, dividindo o problema em partes através do particionamento recursivo do espaço de variáveis de transição. O principal atrativo da metodologia CART é a interpretabilidade proporcionada pela estrutura de árvore de decisão obtida no modelo final que, também pode ser lido, como um conjunto de sentenças lógicas a respeito das variáveis explanatórias.

A modelagem do STAR-Tree se baseia no conceito de múltiplos regimes definidos por uma árvore binária. Ou seja, é especificado um modelo não linear paramétrico através de uma árvore de decisão. No STAR-Tree as partições abruptas dos modelos estruturados em árvores são substituídas por partições suaves no espaço de transição, realizadas através da função logística. Desta forma, os coeficientes são determinados através da combinação de diferentes modelos auto-regressivos, que podem apresentar variáveis exógenas no conjunto das variáveis explicativas.

O modelo proposto nesta dissertação é o STAR-Tree Heterocedástico, que faz uso da metodologia do STAR-Tree aplicada a séries temporais heterocedásticas. Com a disponibilidade de dados de retorno e da volatilidade realizada de ações intra-diários, as séries de retornos são transformadas através da divisão de cada retorno pela sua volatilidade realizada. A série transformada apresenta variância constante. Desta forma pode-se aplicar a metodologia do STAR-Tree na estimação do modelo, que leva em conta a hipótese de que o erro do modelo é homocedástico.

A especificação do modelo é feita através de testes de Multiplicadores de Lagrange, que indicam o nó a ser dividido (se houver) e a variável de transição correspondente. Desta forma o crescimento da árvore é condicionado à existência de não linearidade na série modelada. Para cada divisão, são estimados os parâmetros lineares e não lineares do modelo.

Para avaliar o modelo proposto para retorno, a metodologia foi aplicada as séries de retorno de 23 ações integrantes do índice Dow Jones Industrial Average (DJIA), no período de 1995 a 2005. Os modelos de comparação usados são o modelo Média, o método Naive, modelos lineares ARX e Redes Neurais. As performances dos modelos foram avaliadas através de medidas estatísticas e financeiras. Os resultados financeiros baseam-se em uma regra de negociação automática que informa o momento de comprar e vender cada ativo. Isto nos dá uma idéia do rendimento real de cada ativo durante o período em que os modelos foram testados.

Também foi realizado o teste de Harvey, Leybourne e Newbold (1997), que é uma modificação do teste de Diebold e Mariano (1995) de igualdade de precisão preditiva. O modelo STAR-Tree é comparado com os modelos de referência, com

relação ao erro absoluto, erro quadrático e retorno acumulado das previsões no período *out-of-sample*.

A volatilidade realizada também foi estimada usando a metodologia STAR-Tree, e sua previsão foi utilizada para fazer uma análise de alavancagem financeira, através de empréstimos de capital.

Os resultados obtidos confirmam que os retornos diários de ativos financeiros, principalmente ações, são difíceis de prever. Por outro lado, prever a volatilidade realizada dos retornos é relativamente mais fácil.

Os resultados apresentados pelo modelo STAR-Tree Heterocedástico confirmam a competitividade do modelo proposto.

A dissertação é estruturada da seguinte forma: o Capítulo (2) tem como objetivo dar a base teórica para a metodologia do modelo STAR-Tree, apresentando o modelo STAR e modelos estruturados em árvore, especialmente o algoritmo CART. O Capítulo (3) apresenta a base teórica para a especificação e estimação do modelo STAR-Tree. No Capítulo (4) é apresentada a metodologia do modelo STAR-Tree Heterocedástico. No Capítulo (5) aplica-se o modelo a séries do mercado acionário americano para a previsão do retorno e da volatilidade realizada, apresenta-se a comparação com outros métodos e os resultados obtidos. O Capítulo (6) conclui. No anexo são apresentados tabelas e gráficos de resultados.