

**MODELO ECONOMÉTRICO PARA IDENTIFICAR ARBITRAGEM ESTATÍSTICA NO
MERCADO INTERNACIONAL DE CAFÉS ARÁBICA E ROBUSTA**

***Econometric Model for Identifying Statistical Arbitrage in the International Arabica and
Robusta Coffee Market***

Alonso Gonçalves Afonso de Oliveira

UNIFAL. Varginha, MG, Brasil

João Marcos Caixeta Franco

UNIFAL. Varginha, MG, Brasil

Letícia Lima Milani

UNIFAL. Varginha, MG, Brasil

Grupo de Trabalho (GT): GT1. Mercados agrícolas e comércio exterior

Resumo: O tema central da pesquisa consiste na proposta de implementação de uma estratégia de arbitragem estatística, conhecida como *pairs trading*, aplicada especificamente ao mercado mundial dos cafés arábica e robusta. O trabalho se justifica como uma ferramenta para gerar lucro com riscos reduzidos, explorando oportunidades pontuais de arbitragem baseadas na premissa de correção da divergência na relação de equilíbrio de preços relativos. O objetivo geral é a identificação dos pares de séries temporais de ativos vinculados ao café que possuem uma relação de equilíbrio de longo prazo e a estimação de um modelo para selecionar os melhores pares para negociação. Utilizaram-se 8 séries temporais de dados de fechamento diário dos preços dos cafés arábica e robusta, negociados à vista no Brasil e nos mercados futuros da B3, ICE de Nova Iorque e de Londres, cobrindo o período de 2019 até junho de 2025. A metodologia baseou-se primeiramente na identificação dos pares cointegrados utilizando a metodologia de Engle-Granger. Para os pares validados, procedeu-se à construção de um Modelo de Correção de Erros (MCE) para identificar a força de reversão à média. O MCE permitiu o cálculo da meia-vida *half-life*, indicador crucial para ranquear a viabilidade dos pares, sendo o menor tempo de meia-vida o indicativo da maior força de reversão à média. Dos 28 pares analisados, foram identificados 11 pares cointegrados. Os testes confirmaram que setores diferentes, como o arábica e o robusta, tendem a não apresentar cointegração, ou seja, os ativos derivados destas espécies não possuem equilíbrio de preços de longo prazo. A análise resultou na identificação de 8 pares de café arábica e 3 pares para café robusta (conilon).

Palavras-chave: café; cointegração; mercado futuro; arbitragem estatística; *pair trading*.

Abstract: The central theme of the research consists of proposing the implementation of a statistical arbitrage strategy, known as *pairs trading*, applied specifically to the global Arabica and Robusta coffee market. The work is justified as a tool for generating profit with reduced risks, exploring specific arbitrage opportunities based on the premise of correcting divergence in the relative price equilibrium relationship. The general objective of the project is the identification of pairs of time series of coffee-linked assets that have a long-term equilibrium relationship and the estimation of a model to select the best pairs for trading. Eight time series of daily closing prices for Arabica and Robusta coffees were used, traded spot in Brazil and in the futures markets of B3, ICE New York, and London, covering the period from 2019 until June/2025. The methodology was based primarily on identifying cointegrated pairs using the Engle-Granger methodology. For the validated pairs, an Error Correction Model (ECM) was constructed to identify the strength of mean reversion. The ECM allowed for the calculation of the *half-life*, a crucial indicator for ranking the viability of the pairs, with the shortest half-life time indicating the greatest strength of mean reversion. Of the 28 pairs analyzed, 11 cointegrated pairs were identified. The tests confirmed that different sectors, such as Arabica and Robusta, tend not to exhibit cointegration; that is, assets derived from these species do not have long-term price equilibrium. The analysis resulted in the identification of 8 Arabica coffee pairs and 3 Robusta (Conilon) coffee pairs.

Keywords: coffee; cointegration; futures market; statistical arbitrage; *pair trading*.

1 INTRODUÇÃO

O café exerce uma importância significativa para a indústria agrícola brasileira, com o país ocupando posições de liderança na produção mundial das espécies arábica e robusta. Desde a oferta de emprego para milhares de brasileiros até a números expressivos na exportação, o mercado do café tem sido um dos pilares para a economia do Brasil. Apesar dessa pujança, o mercado é caracterizado por uma volatilidade extrema. Fatores como mudanças climáticas e variações na oferta mundial impactam severamente a produtividade das lavouras e, consequentemente, elevam a incerteza sobre os preços dos ativos.

A grande dificuldade reside na complexidade de prever os preços futuros e absolutos do café devido a inúmeras variáveis externas imprevisíveis. No entanto, observa-se que as alterações na oferta mundial tendem a gerar variações de preços em todos os mercados integrados simultaneamente. Diante disso, surge a oportunidade de analisar os preços relativos (spread) em vez dos preços absolutos. Ao focar na diferença de preços de um mesmo ativo em diferentes mercados, é possível reduzir substancialmente os reflexos de influências adversas de oferta e demanda, permitindo identificar oportunidades de lucro com riscos reduzidos.

É nesse contexto que esta pesquisa — Modelo econométrico para identificar arbitragem estatística no mercado internacional de cafés arábica e robusta — se consolida. Inserida na Área de Concentração de Economia Aplicada da Universidade Federal de Alfenas. O tema central da pesquisa consiste na proposta de utilização de técnicas econométricas na aplicação de métodos estatísticos rigorosos para analisar a dinâmica das séries temporais dos preços do café, permitindo que a teoria econômica seja testada mediante evidências empíricas especificamente ao mercado mundial dos cafés arábica e robusta.

A pesquisa se qualifica por situar-se no encontro entre o avanço da área de finanças quantitativas e a necessidade de lidar com as incertezas de preços absolutos dos ativos do agronegócio, particularmente no mercado cafeeiro, caracterizado por ampla volatilidade. Testar um modelo econométrico, de medidas e testes para previsão do mercado futuro do café, por meio de uma metodologia coesa e experienciada, é uma possibilidade de contribuição não apenas para o produtor de café, mas para o Brasil, como um dos países que lideram este mercado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção visa fornecer o embasamento conceitual necessário para a implementação da estratégia de arbitragem estatística e o modelo econométrico proposto. Inicia-se com a contextualização do mercado internacional de café, destacando a relevância das espécies arábica e robusta, com base nos



estudos de Schnaider e Saes (2013) e dados da Organização Internacional do Café, ICO (2025). Em seguida, se faz o registro sobre a precificação das *commodities* do café, examinando os diversos fatores que contribuem para a volatilidade dos preços, conforme abordado por autores como Barreto e Zugaib (2016) e Schouchana, Sheng e Decotelli (2013).

O cerne teórico se aprofunda na análise de preços relativos e na arbitragem estatística e cointegração, fundamentando-se na Lei do Preço Único (LPU), formalizada por Ingersoll (1987) e discutida em termos de integração de mercado por Chen e Knez (1995) e Facler e Gppdwin (2001). A estratégia de *pairs trading* é definida com base nos trabalhos de Hogan *et al.* (2024) e Gatev, Goetzmann e Rouwenhorst (2006), que detalham as propriedades da arbitragem estatística.

A base econométrica do trabalho, crucial para a identificação e ranqueamento dos pares negociáveis, é estabelecida através da análise de séries temporais estacionárias, com o uso dos testes de raiz unitária Dickey e Fuller (1979, 1981), o conceito de cointegração, introduzido por Granger (1981) e formalizado pela metodologia de Engle e Granger (1987), que identifica a relação de equilíbrio de longo prazo entre as séries e o Modelo de Correção de Erros (MCE) utilizado para calcular a velocidade de reversão à média, *half-life*, conforme metodologia aplicada por Caldeira e Moura (2013).

Apesar de haver inúmeros estudos e ferramentas que buscam a previsão de preços em séries financeiras, é muito comum variações que extrapolam os limites esperados que podem incorrer em elevados riscos e possíveis prejuízos. Porém, esta pesquisa apresenta uma estratégia que a previsão é referente a preço relativo de dois ativos. Gatev, Goetzmann e Rouwenhorst (2006) diferencia duas formas de precificação de ativos. Primeiramente, a precificação absoluta, baseada na análise fundamentalista, tal como o fluxo de caixa descontado. Sendo um processo complexo e com ampla margem de erro. Já a precificação relativa é um pouco mais simples, já que a partir da avaliação de ativos correlacionados é possível estudar a variação dos preços, spread, ao invés do preço absoluto, ao longo do tempo.

Nesse viés, o trabalho de Ingersoll (1987) contribui de maneira fundamental na formalização da Lei do Preço Único (LPU) para aplicação na teoria moderna de finanças. A LPU pode ser entendida como ativos similares que deveriam ser vendidos pelo mesmo preço em diversos locais. Porém, Chen e Knez (1995) argumentam que “mercados estritamente integrados devem atribuir que preços com retornos semelhantes que sejam próximos. (p.288) “tradução própria”. Isto é, uma condição mais fraca, ou também chamada quase LPU, pois os preços não são necessariamente iguais, mas devem ser semelhantes. Santos *et al.* (2007) esclarecem que na ausência de barreiras comerciais, o processo de arbitragem garantirá que os preços de um bem homogêneo em dois países, expressos em moeda comum, não podem diferir em valor superior aos custos de transação.



A teoria de integração de mercados se baseia na LPU. De acordo com Fackler e Gppdwin (2001) quando os mercados apresentam interdependência de seus preços e havendo compartilhamento das mesmas informações de longo prazo, são considerados mercados integrados espacialmente. Quando há divergência de preços, eles tendem a ser corrigidos no curto prazo por operações de arbitragem. Sendo assim, a integração de mercados avalia as variações de preços de um bem em diferentes locais.

Para a cointegração, Harris (1995), apresenta a interpretação econômica de que se duas séries possuem uma relação de equilíbrio de longo prazo, então mesmo que as séries possam conter tendências estocásticas, elas irão mover-se juntas no tempo e a diferença entre elas será estável. Essa interpretação reforça a ligação entre o conceito de cointegração e a estratégia de arbitragem estatística, já que as séries financeiras normalmente apresentam tendências estocásticas, isto é, não são estacionárias. Porém, muitas delas possuem relação de equilíbrio de longo prazo, e dessa forma a diferença dessas duas séries produz uma série estacionária conhecida como *spread*. Em outras palavras, o conceito de cointegração indica a existência de um equilíbrio de longo prazo entre duas ou mais séries temporais.

Ainda sobre preço relativo, Caldeira (2013) afirma que “em mercados eficientes, a precificação com base no modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) e a LPU requer preços próximos para ativos equivalentes ao longo do tempo”(p.529). Portanto, o preço relativo, isto é, o *spread* de preços deve obedecer a um equilíbrio estável ao longo do tempo, sobretudo, quando ocorrer um desvio significativo em relação ao equilíbrio de longo prazo, surgem as oportunidades de arbitragem.

Este trabalho implementa uma estratégia de arbitragem estatística baseado na cointegração. Dessa forma, anomalias nos preços relativos são identificadas para negociação. Nesse contexto, esta pesquisa pode ser vista como um teste de LPU e quase LPU, conforme Gatev, Goetzmann e Rouwenhorst (2006), para o mercado internacional de café. A aplicação do conceito de cointegração para lidar com a LPU e com as ineficiências dos mercados possui uma ampla discussão acadêmica, dos quais se destacam: Karbuz e Jumah (1995), Gatev, Goetzmann e Rouwenhorst (2006), Caldeira e Moura (2013) e Baptista (2015).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa se classifica fundamentalmente como um estudo de natureza quantitativa, utilizando métodos de análise estatística e econométrica. A pesquisa se qualifica por situar-se no encontro entre o avanço da área de finanças quantitativas e a necessidade de lidar com as incertezas de preços absolutos dos ativos do agronegócio, particularmente no mercado cafeeiro, caracterizado por ampla volatilidade.

Para tanto, a pergunta que direciona este trabalho é: entre os diversos pares de séries temporais de preços dos cafês arábica e robusta negociados nos mercados à vista e futuro nas principais bolsas de



valores mundiais, é possível identificar pares cointegrados que apresentem uma relação de equilíbrio de longo prazo e uma força de reversão à média estatisticamente significativa, permitindo a implementação de uma estratégia lucrativa de arbitragem estatística, *pairs trading*?

Esta pergunta se faz na hipótese principal que possa existir cointegração, relação de equilíbrio de longo prazo, entre pares de ativos de café arábica e robusta, e o Modelo de Correção de Erros (MCE). Aqui se faz o detalhamento do caminho metodológico percorrido para alcançar os objetivos da pesquisa de identificar pares de ativos de café que possuem relação de equilíbrio de longo prazo e, subsequentemente, ranquear os melhores pares para negociação utilizando a estratégia de arbitragem estatística conhecida como *pairs trading*. O estudo utiliza 8 séries temporais de dados de fechamento diário dos preços dos cafés arábica e robusta, negociados à vista no Brasil e nos mercados futuros da bolsa de São Paulo (B3), ICE de Nova Iorque e de Londres, baseando-se no período de 2019 até junho de 2025. A etapa crucial da metodologia é a identificação dos pares cointegrados por meio da aplicação da metodologia de Engle-Granger. Para os pares validados, a força de reversão à média é analisada pela construção de um Modelo de Correção de Erros (MCE) cujo coeficiente permite calcular a meia-vida, *half-life*. Este indicador é fundamental, pois o menor tempo de meia-vida sinaliza a maior força de reversão à média, sendo o parâmetro utilizado para ranquear a viabilidade dos pares na estratégia de arbitragem. Inúmeros projetos de arbitragem estatística procuram identificar cestas de ações, que sejam mais rentáveis, que um índice de referência. Diferentemente, esta pesquisa possui limitações expressivas para montagem de cestas de ativos, que permita a diversificação da estratégia e consequentemente redução dos riscos de negociação. Sendo importante destacar, que durante o estudo foram identificadas algumas limitações e abaixo estão relacionadas as três principais:

- i) o mercado à vista possui regras, despesas contábeis, custos de armazenamento e principalmente alocação de capital diferente do mercado futuro;
- ii) as negociações com o mercado futuro exigem a chamada ‘margem de garantia’, que consiste em um valor financeiro alocado, que permita realizar as negociações no mercado futuro. Porém, para pequenos negociadores as bolsas de Nova Iorque (NY), Londres e B3 exigem margens diferentes e contas de investimentos diferentes.
- iii) A dimensão dos contratos de negociação é diferente em cada bolsa. B3 (6.000 kg por contrato), NY (17.010 kg por contrato) e Londres (10.000 kg).

Dessa forma, o foco aqui é identificar quais os pares são cointegrados utilizando a metodologia de Engle-Granger e na sequência a partir do Modelo de Correção de Erros (MCE) identificar qual o par possui menor meia-vida, isto é, menor tempo de reversão à média de longo prazo.

3.1 FONTE DE DADOS

Nesta pesquisa foram utilizados dados diários, considerando cinco dias na semana, de 02 de janeiro de 2019 a 04 de junho de 2025, extraídos no site do Conselho de Exportadores de Café do Brasil (CECAFÉ) e no site do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). Os dados foram extraídos em 06 de junho de 2025 e correspondem a 1.559 dias de negociação.

Foram utilizados os valores de fechamento diários dos ativos financeiros derivados dos cafés robusta e arábica. Por se tratar de negociação entre pares, foi removida da base os dias em que não havia dados disponíveis para todos os ativos, conforme a perspectiva de Verbeek (2021). A negociação em pares exige que a negociação ocorra em uma ponta comprada e outra ponta vendida, isto é, os ativos devem estar disponíveis ao mesmo tempo. Portanto, foram removidas 94 observações da amostra original que não atendiam essa prerrogativa. O Quadro 1 detalha as informações sobre os ativos e as séries temporais utilizadas neste estudo.

Quadro 1: Relação de ativos a serem analisados

Código	Ativo	Unidade	Informações adicionais	Fonte
AR BR	Preço café arábica à vista no Brasil	US\$ / saca 60 kg	Entregue em SP	CEPEA
RO BR	Preço café robusta à vista Brasil	US\$ / saca 60 kg	Retirar na origem no ES	CEPEA
AR B3-1	Preço café arábica no mercado futuro da B3, próximo vencimento	US\$ / saca 60 kg	Entregue em SP	CECAFÉ
AR B3-2	Preço café arábica no mercado futuro B3, segundo vencimento	US\$ / saca 60 kg	Entregue em SP	CECAFÉ
AR NY-1	Preço café arábica no mercado futuro ICE — NY, primeiro vencimento	Cents (US\$) / libra	Entregue nos USA, Alemanha, Bélgica e Espanha	CECAFÉ
AR NY-2	Preço café arábica no mercado futuro ICE — NY, segundo vencimento	Cents (US\$) / libra		CECAFÉ
RO LON-1	Preço café robusta no mercado futuro ICE — Londres, primeiro vencimento	US\$ / ton. métrica	Entregue em Londres ou USA	CECAFÉ
RO LON-2	Preço café robusta no mercado futuro ICE — Londres, segundo vencimento	US\$ / ton. métrica		CECAFÉ

Fonte: Autor (2025).

Outro fator relevante são as despesas contratuais no momento da liquidação física, que envolve emissão de nota fiscal, impostos de circulação de mercadoria, imposto de renda sobre os lucros e no

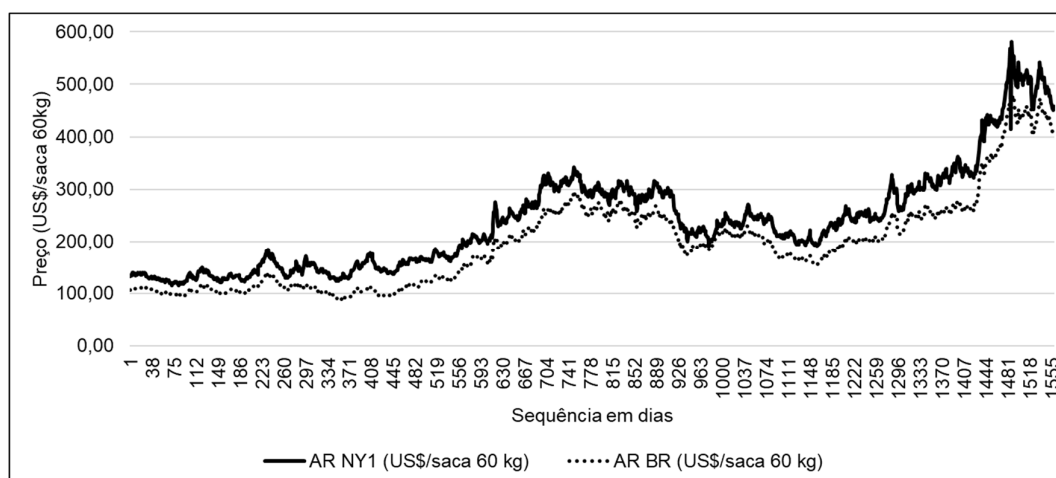
caso de exportação de mercadorias também o pagamento de despesas aduaneiras, entre outros. Portanto, para efeito de simplificação não serão avaliadas as despesas de liquidação física e financeira.

Apesar da complexidade de avaliar diferentes mercados, em diferentes continentes, com diferentes tipos de café, o ponto em comum de estudo é o café verde padronizado como *commodity*. Portanto, o mesmo produto possui tributações diferentes por estados e países, além dos desafios logísticos e armazenagem, mas este trabalho se dedicará exclusivamente em entender os movimentos cointegrados dessas *commodities*, se há relação de longo prazo e quais pares seriam mais efetivos para a estratégia de arbitragem. Para isso, o parâmetro que será considerado é a meia-vida, conforme Caldeira e Moura (2013), que é, o tempo médio de reversão à média, que será medido em dias. Ele representa a força de reversão a média, já que, quanto menor for a meia-vida, maior a força de reversão a média.

3.2 ANÁLISE DOS DADOS

Este estudo avalia dois mercados de café distintos, o mercado do robusta (conilon) e o do arábica. No entanto, para efeito de análise são realizadas avaliações de integração entre esses mercados. De acordo com Gatev, Goetzmann e Rouwenhorst (2006) ativos financeiros tendem a formar pares em mercados semelhantes. As 8 séries temporais do estudo são 3 do mercado de café robusta e 5 do mercado de café arábica. Para facilitar as análises foram padronizadas as unidades para US\$, em relação à moeda, e por kg, em relação à unidade de peso. O Gráfico 1 apresenta um exemplo de par de duas séries temporais do mercado do café arábica.

Gráfico 1: Preços do mercado do café arábica à vista no Brasil e futuro em Nova Iorque entre janeiro de 2019 a junho de 2025



Fonte: Autor (2025).

A partir da observação gráfica imediata é possível identificar que as séries possuem movimentos semelhantes. Porém, é necessário o teste de cointegração para assegurar que as séries possuem uma



relação de longo prazo. Outro ponto fundamental é que para efeitos de estudos e simplificação foram usados os dados de fechamento diário, sendo necessário enfatizar, que na avaliação intradiária e conforme o mercado em avaliação há uma influência direta da liquidez dos ativos. As reais oportunidades de arbitragem só ocorrem em momentos específicos, portanto há a necessidade de ferramentas adicionais para monitoramento e identificação adequada do momento da arbitragem.

Durante o período analisado, o preço absoluto do café arábica apresentou uma clara tendência de crescimento e alta volatilidade, inicialmente em função da pandemia da COVID-19, que impactou diretamente a economia mundial e consequentemente o mercado mundial das *commodities*. Nesse período o Brasil apresentou uma forte variação cambial, que beneficiou os exportadores brasileiros. Por fim, o período de altas dos preços apresentado nos anos de 2024 e 2025, em função de uma das maiores secas históricas, que atingiram o Brasil e reduziu as expectativas de produtividade da safra seguinte. Mais uma vez é importante destacar, que o preço absoluto do café é sensível a inúmeras variáveis, porém ao avaliar o *spread* de preços aumenta substancialmente a possibilidade de melhores previsibilidades estatísticas.

3.3 TESTE ENGLE-GRANGER

Atualmente há diversos testes que verificam se duas ou mais séries são cointegradas. Com destaque para três testes clássicos. O primeiro é o teste de Engle-Granger, proposto por Engle e Granger (1987) que constitui um dos testes mais utilizados devido a sua facilidade de aplicação. O segundo teste foi apresentado por Phillips e Ouliaris (1990). O terceiro foi desenvolvido por Johansen e Juselius (1990). Neste trabalho serão considerados os testes de Engle e Granger pelo simples motivo de que todas as análises foram realizadas para pares de ativos, e esse teste é recomendado para estimar cointegração de até duas séries temporais.

O teste de Engle-Granger é um processo com dois passos: primeiro se estima uma regressão linear ordinária nos dados das variáveis $I(1)$, e depois se aplica um teste de estacionariedade nos resíduos dessa regressão. Os valores críticos para esse teste são dados por MacKinnon (1991). Para o caso de somente duas variáveis, x e y , a regressão de Engle-Granger tem a seguinte equação:

$$x_t = \alpha + \beta y_t + \varepsilon_t, t=1, 2, \dots \quad (9)$$

Entende-se que x e y serão cointegrados se, e somente se, ε for estacionário. Então se tem um vetor de cointegração dado por $(1, -\beta)$. É importante destacar a necessidade de avaliações amostrais de longo prazo para detecção de tendências comuns.

Uma regressão linear ordinária entre n variáveis $I(1)$ cointegradas vai estimar uma combinação linear dessas séries que é estacionária. Quando $n=2$, não importa qual variável é tomada como dependente. Existe apenas um vetor de cointegração. Porém, quando há mais de duas séries $I(1)$, a

metodologia de Engle-Granger pode apresentar viés. Dessa forma, essa metodologia normalmente não é utilizada em avaliações com mais de duas variáveis cointegradas.

Normalmente as séries de preços no mercado financeiro não são estacionárias. Porém, existem pares que o *spread*, isto é a diferença de preços das séries é estacionário. Essas duas séries são ditas cointegradas e potenciais ao *pair trading*.

Após os tratamentos iniciais na base de dados será desenvolvido o modelo para arbitragem estatística, aplicando as técnicas de cointegração. O teste de Engle-Granger possui etapas claras nessa identificação. Portanto, o Quadro 2 abaixo apresenta informações sobre esses testes, que foram realizados ao nível de significância de 5%.

Quadro 2 – Testes realizados

Teste	Objetivo do teste	Decisão
Teste da raiz unitária – Dickey Fuller Aumentado H_0 : a ST tem raiz unitária (não estacionária)	Verificar se a série pode ser um passeio aleatório, ou seja, se tem uma tendência estocástica, devido à presença de raiz unitária.	Se p-valor for menor que o nível de significância, então rejeita-se H_0 , ou seja, a ST é estacionária em relação à tendência estocástica
Teste sobre os coeficientes estimados no modelo. H_0 : os coeficientes são iguais a zero	Avaliar a significância dos coeficientes estimados	Se p-valor for menor que o nível de significância, então rejeita-se H_0 , ou seja, os coeficientes são diferentes de zero.
Teste correlação dos resíduos H_0 : os resíduos são ruídos brancos	Avaliar se os resíduos do modelo estimado é um ruído branco	Se p-valor for menor que o nível de significância, então rejeita-se H_0 , ou seja, os resíduos não são ruídos brancos.

Fonte: Autor (2025).

Os pares validados no teste Engle-Granger, são ditos pares cointegrados e, portanto, possuem correlação de longo prazo e o *spread* possui propriedade de reversão a média. Foram analisadas as possibilidades de cointegração de 28 pares.

Séries de tempo cointegradas podem ser representadas por meio de um vetor de correção de erros (VECM– Teorema da Representação de Granger), no qual a dinâmica das séries de tempo é

modelada como função de seus valores defasados, dos valores defasados de seu par cointegrado e de um componente de correção de erro, o qual corrige os desvios da relação de equilíbrio nos períodos anteriores.

Nesta pesquisa, o MCE é empregado para calcular a meia-vida dos pares utilizados na estratégia *pairs trading*, que é utilizada para definir o período em que a operação deve ser mantida em aberto. A ideia por trás da correção de erros é que sistemas cointegrados têm um equilíbrio de longo-prazo, isto é, a média de longo prazo da combinação linear das duas séries. Se ocorre um desvio em relação ao equilíbrio de longo prazo, uma ou as duas séries ajustam para restaurar o equilíbrio. Dessa forma se fará a identificação da taxa de correção de erro (α), indicando a velocidade à qual as séries se ajustam para manter o equilíbrio, usado para determinar o período ótimo para se manter aberta uma estratégia baseada em reversão à média.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram analisadas 8 séries temporais, que geraram a possibilidade de 28 pares de negociação, dos quais 11 apresentaram cointegração no teste Engle-Granger. Foi avaliada estacionariedade de cada série temporal para avaliar se todas possuem o mesmo nível de diferenciação. A Tabela 3 demonstra o resultado do teste de raiz unitária utilizando o Dickey-Fuller Aumentado (ADF).

Tabela 1 - Teste de estacionariedade (ADF) para as séries completas (janeiro de 2019 a junho de 2025)

Série Temporal	P — valor
AR NY-1	0,9347
AR NY-2	0,9577
AR B3-1	0,9511
AR B3-2	0,9407
AR BR	0,971
RO LON-1	0,9185
RO LON-2	0,9032
RO BR	0,8175

Fonte: Autor (2025).

Conforme Tabela 1, todas as séries temporais apresentam raiz unitária, ou seja, rejeitam a hipótese de H_0 ao nível de significância de 5%. Além disso, todas as séries temporais se tornaram estacionárias na primeira diferenciação. Portanto, todas as séries foram possíveis para construção dos pares de negociação. A partir daí foram realizados os testes de cointegração de Engle-Granger para definição de quais pares de negociação são cointegrados e assim, admissíveis para arbitragem estatística. Seguiu-se as duas etapas do teste de Engle-Granger e a Tabela 2 apresenta os testes dos pares que

resultaram em um resíduo, que é ruído branco, isto é, pares que são cointegrados e possuem equilíbrio de longo prazo. Portanto, seguem-se as avaliações com 8 pares de café arábica e 3 pares para café robusta (conilon).

Tabela 2 – Testes dos resíduos dos pares integrados

PARES COINTEGRADOS		EG (p-valor)
AR BR	AR B3-1	0,0000
AR BR	AR B3-2	0,0014
RO BR	RO LON-1	0,0168
RO BR	RO LON-2	0,0482
AR B3-1	AR B3-2	0,0000
AR B3-1	AR NY-1	0,0000
AR B3-1	AR NY-2	0,0004
AR B3-2	AR NY-1	0,0010
AR B3-2	AR NY-2	0,0170
AR NY-1	AR NY-2	0,0000
RO LON-1	RO LON-2	0,0000

Fonte: Autor (2025).

O Quadro 3 apresenta os pares reprovados no teste de cointegração Engle-Granger e, portanto, não possuem relação de equilíbrio de longo prazo, isto é, apresentaram regressões espúrias.

Quadro 3 – Pares que não apresentaram cointegração

AR B3-1	RO LON-1	AR NY-1	RO LON-1
AR B3-1	RO LON-2	AR NY-1	RO LON-2
AR B3-2	RO LON-1	AR NY-2	RO LON-1
AR B3-2	RO LON-2	AR NY-2	RO LON-2
AR BR	AR NY-1	RO BR	AR B3-1
AR BR	AR NY-2	RO BR	AR B3-2
AR BR	RO BR	RO BR	AR NY-1
AR BR	RO LON-1	RO BR	AR NY-2
AR BR	RO LON-2		

Fonte: Autor (2025).

Os testes confirmaram o que foi dito por Gatev, Goetzmann e Rouwenhorst (2006), que setores diferentes tendem a não apresentar cointegração, ou seja, os ativos que derivam dos cafés arábica e

robusta não são cointegrados e, portanto, não possuem equilíbrio de longo prazo. Para explicar isso, três fatores podem ser destacados:

- 1) O café arábica tem o Brasil como líder mundial de produção, já o café robusta possui o Vietnã como líder mundial de produção, o que naturalmente incorre em ciclos de safra e entressafra diferentes;
- 2) Essas duas espécies de café são negociadas em mercados financeiros distintos. Além da B3, o arábica é negociado em Nova Iorque e o robusta em Londres. Portanto, sujeitos a tarifas e políticas comerciais de cada países diferentes.
- 3) Por fim, como já destacado neste trabalho, o café robusta é utilizado como *blend*, isto é, ele complementa o café arábica em uma mistura. Conforme estudos de Schnaider e Saes (2013) o percentual de café robusta nesse *blend* é diretamente afetado pelos preços do café arábica. De uma maneira resumida, se o preço do café arábica aumenta, os torrefadores aumentam a quantidade de café robusta na composição final, procurando a maximização do lucro.

Um ponto importante diante das possibilidades de arbitragem envolvendo mercado à vista e futuro é a identificação dos melhores pares de negociação. Neste trabalho foi modelado o Mecanismo de Correção de Erros (MCE) para cada par cointegrado, a partir do qual se obteve o α , que representa a velocidade de ajuste de uma variável em função do equilíbrio de longo prazo. Além disso, a partir do α é possível calcular um indicador conhecido como *half-life*, ou meia-vida, que indica quanto tempo em média o *spread* levará para retornar a metade do seu desvio após um choque. Dessa forma, o *half-life* está relacionado a força de reversão a média, sendo um importante indicador do par selecionado.

Conforme Caldeira e Moura (2013) foi calculada a meia-vida de cada par cointegrado e a Tabela 3 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 3 – Resultado da força de reversão a média dos pares cointegrados

PARES COINTEGRADOS		meia-vida (dias úteis)
AR NY-1	AR NY-2	1,3
RO LON-1	RO LON-2	2,9
AR B3-1	AR B3-2	4,9
AR B3-2	AR NY-2	6,6
AR B3-1	AR NY-2	8,6
AR B3-1	AR NY-1	13,4
AR B3-2	AR NY-1	13,6
AR BR	AR B3-1	20,0
AR BR	AR B3-2	20,3

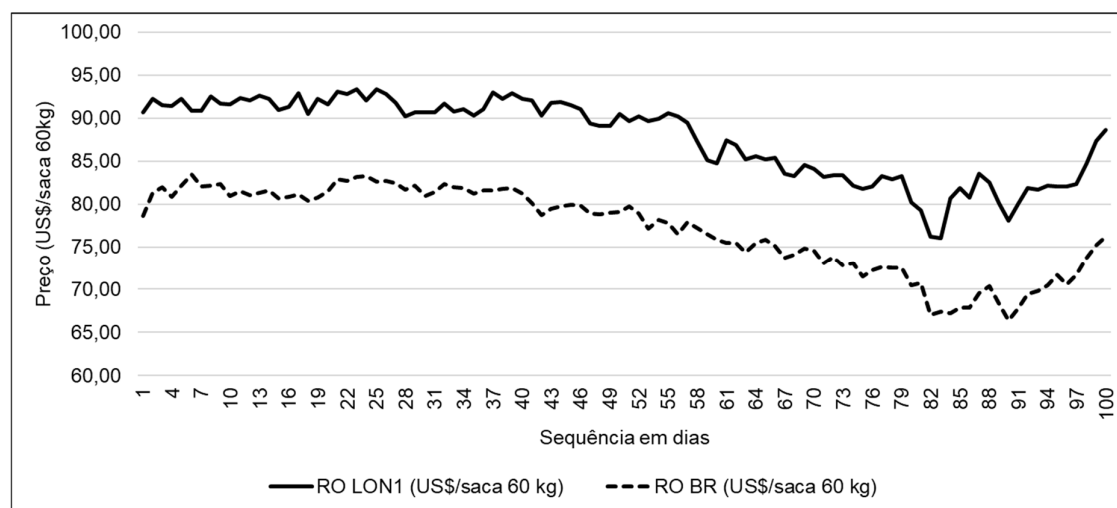
Fonte: Autor (2025).

É importante destacar alguns pontos sobre a análise dos pares com menor meia-vida, sendo ótimas opções de negociações com arbitragem estatísticas. Os três primeiros pares apresentam mais facilidade de negociações, já que pertencem aos mesmos países, estão inseridos na mesma bolsa de valores e podem ser negociados a partir do mesmo depósito de margens. Dessa forma, são ótimas escolhas para aplicação da estratégia.

Houve dois pares, envolvendo a negociação de café robusta à vista no Brasil e futuro em Londres, apesar de serem cointegrados, durante a avaliação do MCE, os valores de α não apresentaram resultados significantes estatisticamente ao nível de 5% de significância. Diante disso, esses dois pares não foram recomendados para a estratégia.

As estratégias envolvendo mercado físico e futuro possuem pontos de atenção relevantes para pequenos investidores, já que, são mercados que envolvem tributações e despesas operacionais totalmente independentes. Apesar de apresentarem opções lucrativas de arbitragem, elas envolvem estratégias que ultrapassam o *pair trading*. O Gráfico 3 ilustra o comportamento do par formado pelo contrato futuro Londres 1 e o preço à vista no Brasil, que formam um dos pares analisados e são cointegrados.

Gráfico 3 – Série de preços do café robusta no contrato futuro em Londres 1 e à vista no Brasil no período de 02/01/2019 à 31/05/2019.

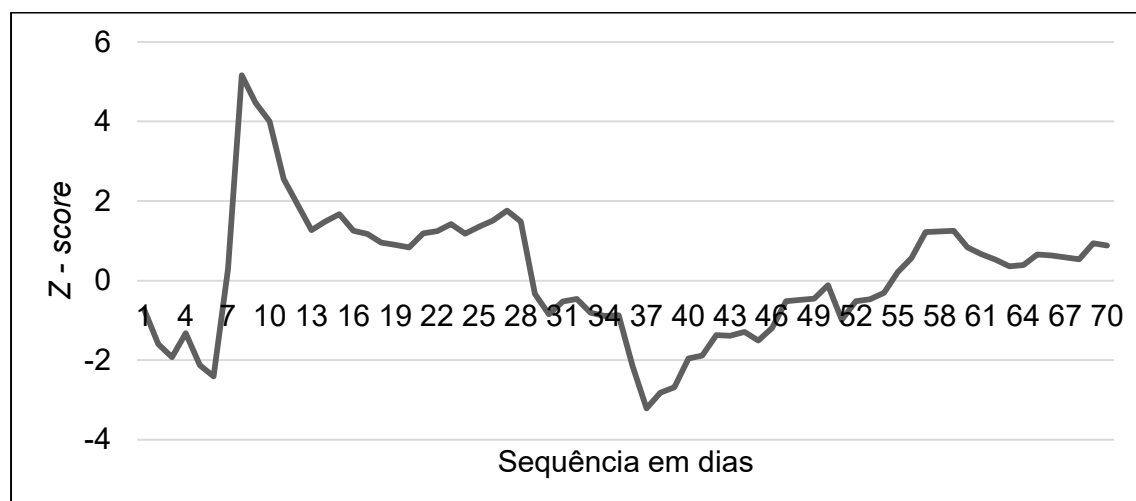


Fonte: Autor (2025).

Por fim, segue o Gráfico 4 no qual se apresenta o *spread* padronizado ou também conhecido como *z-score*, tendo como base a média das últimas 30 negociações e normalizada pelo desvio padrão. Conforme Gatev, Goetzmann e Rouwenhorst (2006), Caldeira e Moura (2013) e muitos outros, o *z-*

score facilita a identificação dos pontos de entrada e saída das negociações a partir da quantidade de desvios padrão divergente e mostra a capacidade de reversão da média de longo prazo.

Gráfico 4: *Z-score* do par contrato futuro em Londres 1 e Londres 2 do café robusta no período de 13/02/2019 a 30/05/2019.



Fonte: Autor (2025).

Estratégias desta natureza resultam operações altamente alavancadas. Mesmo cada posição sendo relativamente pequena em relação ao mercado na sua totalidade, o efeito agregado das várias posições podem potencializar as perdas. Portanto, essa estratégia deve envolver a diversificação de ativos e posições, além de utilização de mecanismo de redução de perdas, tal como *stop-loss*. Apesar, deste estudo ser direcionado para o mercado mundial de café, o ideal é a montagem de uma carteira com diversos ativos de *pair trading*, conforme os estudos, que fundamentaram este trabalho. Principalmente, devido ao risco de quebra estrutural de determinado ativo ou mercado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi proposta a implementação de uma estratégia de arbitragem estatística conhecida como *pairs trading* aplicada ao mercado mundial de café arábica e robusta. A estratégia foi desenvolvida utilizando a cointegração e a velocidade de reversão à média dos pares cointegrados. Assim, o primeiro objetivo é se propor a desenvolver um método para identificar pares que possam ser usados na estratégia *pairs trading*. Após a identificação dos pares se conduz uma análise dos co-movimentos entre as séries, buscando identificar a força de reversão à média através da estimação da meia-vida, a qual é relevante para aplicação da estratégia.

Os testes confirmaram o que foi dito por Gatev, Goetzmann e Rouwenhorst (2006), que setores diferentes tendem a não apresentar cointegração, ou seja, os ativos que derivam dos cafés arábica e



robusta não são cointegrados. A partir de uma pequena análise das divergências de safra e entressafra de ambos os cafés robusta e conilon, complementares na produção de vários tipos de cafés no mundo, entende-se que não possuem equilíbrio de preços no longo prazo. Portanto, segue-se com negociações diferenciadas para cada tipo de café, sendo 8 pares de café arábica e 3 pares para café robusta (conilon). Os três pares que mostraram maior viabilidade para negociações foram: AR NY-1_AR NY-2, RO LON-1_RO LON-2 e AR B3-1_AR B3-2.

Os pares RO BR_RO LON-1 e RO BR_RO LON-2, apesar de serem cointegrados, os valores de α não apresentaram resultados significantes estatisticamente ao nível de 5% de significância. Diante disso, esses dois pares não foram recomendados para a estratégia.

As estratégias envolvendo mercado físico e futuro possuem pontos de atenção relevantes para pequenos investidores, já que, são mercados que envolvem tributações e despesas operacionais totalmente independentes. Apesar de apresentarem opções lucrativas de arbitragem, elas envolvem estratégias que vão além do *pair trading*, tais como: armazenagem, logística e comércio exterior. Negociadores do mercado futuro possuem uma vantagem de negociação substancial, que permite alavancar suas posições em quase 10x em relação aos negociadores do mercado à vista. Além disso, os diferentes tamanhos de contrato são uma forte barreira para pequenos negociadores realizarem arbitragem entre as 3 principais bolsas do mundo.

Por fim, em contraste com o apresentado por Hogan *et al.* (2004) sobre quatro propriedades da estratégia de arbitragem estatística, foi possível identificar neste trabalho, que diferença da aplicação dessa técnica no mercado à vista de ações ao aplicá-la em *commodities* do mercado futuro: não é autofinanciada, ao haver a necessidade de margem de garantia para negociações no mercado futuro e no mercado à vista a compra do ativo;

Além disso, há riscos importantes envolvendo as negociações do ativo físico e o mercado futuro, que não convergem para zero. É possível citar: os custos variáveis de tarifas entre países, a diferença de liquidez entre a venda à vista e futura e por fim a logística de entrega. Dessa forma, este trabalho detalhou que a técnica de *pair trading* é facilitada quando aplicada entre ativos do mercado futuro do mesmo país, obviamente não rejeita as oportunidades envolvendo os demais pares de negociação, que foram claramente analisadas.

Com relação a trabalhos futuros é possível ampliar as análises para demais *commodities* negociadas no mercado futuro e elaboração de uma cesta de pares de *commodities* para a devida simulação de rentabilidade, com atenção especial às despesas operacionais de cada par. Além disso, cabem análises que extrapolem o primeiro e segundo vencimento das séries temporais. Outra avaliação complementar seriam as integrações de curto prazo, que também possam apresentar oportunidades com baixo risco, a partir de mecanismo de prevenção de perdas.

A metodologia quantitativa adotada, que focou na análise de preços relativos, *spread*, ameniza a volatilidade comum do mercado de café e utilizou a identificação de cointegração via Engle-Granger, seguida pela construção do Modelo de Correção de Erros (MCE) para estimar a meia-vida, *half-life*, indicador crucial para ranquear a viabilidade dos pares. Dos 28 pares analisados, 11 foram validados como cointegrados, sendo 8 pares de café arábica e 3 pares robusta; os testes também confirmaram a tendência de que ativos de setores diferentes não apresentam cointegração. Os três pares ranqueados com maior viabilidade para negociações, por possuírem a menor meia-vida, foram: AR NY-1_AR NY-2, RO LON-1_RO LON-2 e AR B3-1_AR B3-2. Contudo, a aplicação da técnica em *commodities* futuras e físicas revelou que as negociações não aderem estritamente às quatro propriedades de arbitragem estatística de Hogan *et al.* (2004), devido à necessidade de margem de garantia e à persistência de riscos operacionais (como tarifas, logística e diferença de liquidez) que não convergem a zero, sugerindo que a máxima eficácia da estratégia se dá entre ativos do mercado futuro da mesma bolsa.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, C. **Market Models: A Guide to Financial Data Analysis**, Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons: 2001.
- BAPTISTA, D. M. **Integração e assimetrias na transmissão de preços de café arábica no Brasil**. São Paulo: ESALQ / USP, 2015.
- BARRETO, R. C. S.; ZUGAIB, A. C. C. **Dinâmica do mercado internacional de café e determinantes na formação de preços**. Paraná: Economia & Região, 2016.
- BERHANE, T.; ADAM, M.; AWGICHEW, G.; HAILE, E. **Modeling Coffee Price using Jump Diffusion Model: The case of Ethiopia**. Indonésia: International Journal of Computing Science and Applied Mathematics, 2019.
- BERTRAM, W. K. **Analytic solutions for optimal statistical arbitrage trading**. Holanda: Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2010.
- BOX, George P.; JENKINS, Gwilym M. **Time series analysis, forecasting and control**. San Francisco: Ed. HoldenDay, 1976.
- BRITO, I. A. **Uma nova estratégia de negociação em pares**. São Paulo: FGV/EESP, 2014.
- BURGESS, A.N. **A Computational Methodology for Modelling the Dynamics of Statistical Arbitrage**. Londres: Department of Decision Sciences, London Business School, 2000.
- CALDEIRA, J.F. **Arbitragem Estatística, Estratégia Long-Short Pairs Trading, Abordagem com Cointegração Aplicada ao Mercado de Ações Brasileiro**. Brasília: Revista Economia, 2013
- CALDEIRA, J. F.; MOURA, G. V. **Selection of a portfolio of pairs based on cointegration: A statistical arbitrage strategy**. Rio de Janeiro: Brazilian Review of Finance. 2013



CEPEA/ESALQ. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: www.cepea.esalq.usp.br. Acesso em: jun.2025

CHEN, Zhiwu; KNEZ, Peter J. **Measurement of Market Integration and Arbitrage**. Carolina do Norte: Review of financial studies, jun. 1995

COELHO, L. *et al.* **Podemos prever a taxa de câmbio brasileira?** Evidências empírica utilizando inteligência computacional e modelos econométricos. São Carlos: Revista Gestão de Produção, 2008.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Safra de café encerra em 54,2 milhões de sacas em 2024 impactada por clima adverso**. Disponível em: www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5900-safra-de-cafe-encerra-em-54-2-milhoes-de-sacas-em-2024-impactada-por-clima-adverso. Acesso em: 03 de abril de 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. **Safra 2017/2018 bate recorde de produção e compromete receita bruta dos produtores**. Disponível em <https://www.cnabrazil.org.br/boletins/safra-2017-2018-bate-recorde-de-producao-e-compromete-receita-bruta-dos-produtores>. Acesso em: out. de 2025.

CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL. Cecafé. São Paulo, [entre 1999 e 2024]. Disponível em: <https://www.cecfe.com.br/>. Acesso em: out. de 2025.

COPELAND, T. E.; WESTON, J. F.; SHASTRI, K. **Financial theory and corporate policy** Massachusetts: Addison-Wesley, 1998.

CORSINI, F. P.; RIBEIRO, C. D. O. **Dinâmica e previsão de preços de commodities agrícolas com o filtro de Kalman**. Rio de Janeiro: Anais: XIX ENEGEP-Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2008.

CUMMINS, M.; BUCCA, A. (2012). **Quantitative spread trading on crude oil and rene products markets**. Oxfordshire: Quantitative Finance, 2012

CUNHA, D. A.; BRAGA, M. J.; CAMPOS, A. C.; FERNANDES, L. L. **Transmissão de preços no mercado internacional de café robusta**. Minas Gerais: Revista de Economia e Agronegócio, 2008.

D.E. SHAW & CO. Investment approach. Disponível em: <https://www.deshaw.com/what-we-do/investment-approach>. Acesso em: set. 2025.

DIAS, L. D. O.; SILVA, M. D. S. D. **Determinantes da demanda internacional por café brasileiro**. Brasília: Revista de Política Agrícola, 2015.

DICKEY, D.A.; FULLER, W.A. **Distributions of The Estimators For Autoregressive Time Series With a Unit Root**. Washington: Journal of the American Statistical Association, 1979.

DICKEY, D.A.; FULLER, W.A. **Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series With a Unit Root**. Chicago: Econometrica, 1981

ELLIOTT, R. J.; VAN DER HOEK, J.; MALCOLM, W. P. **Pairs trading**. Reino Unido: Quantitative Finance, 2005.

ENGLE, R.; GRANGER, C. **Co-integration and error correction: Representation, estimation and testing**. Chicago: Econometrica, 1987.

FAKLER, P.L.; GPPDWIN, B.K.; **Spatial price analysis**. Holanda: Handbook of Agricultural Economics North-Holland Press, 2001.



FERRAZ, J. C.; KUPFER, D.; HAGUENAUER, L. **Made in Brazil: desafios competitivos para a indústria.** Rio de Janeiro: Campus, 1995.

FERREIRA, L. **New tools for spread trading. Futures: News, Analysis & Strategies for Futures.** Chicago: Options & Derivatives Traders, 2008.

FULLER, W. **Introduction to Statistical Time Series.** Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1976.

GATEV, E.; GOETZMANN, W. N.; ROUWENHORST, K. G. **Pairs trading: Performance of a relative-value arbitrage rule.** Cary: Review of Financial Studies, 2006.

GRANGER, C. **Some properties of time series data and their use in econometric model specification.** Holanda: Journal of Econometrics, 1981.

GUTIERREZ, C. E.C.; ALMEIDA, F.M.M. **Modelagem e Previsão do Preço do Café Brasileiro.** Paraná: Revista De Economia, 2013.

HALL, H.E.; LIEBERMAN, M. **Microeconomia: princípios e aplicações.** São Paulo: Thamsom Learnig, 2003.

HARRIS, R.I.D. **Using cointegration analysis in econometric modelling.** London: Prentice Hall, 1995.

HOGAN, S.; JARROW, R.; TEO, M.; WARACHKA, M. **Testing market efficiency using statistical arbitrage with applications to momentum and value strategies.** Holanda: Journal of Financial Economics, 2024.

HUCK, N. **Pairs selection and outranking: An application to the S&P 100 index.** Holanda: European Journal of Operational Research, 2009.

HUCK, N. **Pairs trading and outranking: The multi-step-ahead forecasting case.** Holanda: European Journal of Operational Research, 2010.

HULL, J. **Introdução aos mercados futuros e de opções.** São Paulo: BM&F, 1996.

ICO. International Coffee Organization - Historical Data on the Global Coffee Trade. Disponível em: <http://www.ico.org/pt>. Acesso em: mar. e set. 2025.

INGERSOLL, J. E. **Theory of Financial Decision Making.** Londres: Bloomsbury Academic, 1987.

JOHANSEN, S. **Statistical Analysis of Cointegration Vectors.** Holanda: Journal of Economic Dynamic and Control, 1988.

JOHANSEN, S., e JUSELIUS, K. **Maximum likelihood estimation and inference on cointegration—with applications to the demand for money.** Reino Unido: Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 1990.

JUNQUEIRA, F. Z. **Contratos futuros de café como alternativa para diminuir o risco de uma carteira.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

JUREK, J. W.; YANG, H. (2007). **Dynamic portfolio selection in arbitrage.** Massachusetts: Working paper, 2007.

KARBUZ, S.; JUMAH, A. **Cointegration and Commodity Arbitrage.** Nova Iorque: Agribusiness, 1995.



- KIM, K. **Performance analysis of pairs trading strategy utilizing high frequency data with an application to KOSPI 100 equities**. Nova Iorque: SSRN Electronic Journal, 2011.
- KRAUSS, C. **Statistical Arbitrage Pairs Trading Strategies**: Review and Outlook. Reino Unido: Journal of Economic Surveys, 2016.
- LIEW, R. Q.; WU, Y. **Pairs trading**: A copula approach. Londres: Journal of Derivatives & Hedge Funds, 2013.
- McKINNON, Ronald I. **The order of economic liberalization**: financial control in the transition to a market economy. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1991.
- MELAWANKI, M.; PRADEEPA BABU B. N.; VEDAMURTHY, K. B. **Empirical study on interdependence of coffee futures prices and farm gate prices in major coffee producing countries**. Índia: Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology, 2025.
- MIRANDA, A. P.; CORONEL, D. A.; VIEIRA, K. M. **Previsão do mercado futuro do café arábica utilizando redes neurais e métodos econométricos**. Rio Grande do Sul: Revista Estudos do CEPE, 2013.
- OLIVEIRA, Carlos André Santos de. **Relevância social e econômica da cafeicultura para o Brasil**. Brasília: Conselho Nacional do Café, 2025. Disponível em: <https://cncafe.com.br/relevancia-social-e-economica-da-cafeicultura-para-o-brasil-por-carlos-andre-santos-de-oliveira-superintendente-da-ocb-es/>. Acesso em: 03 abr. 2025.
- PARREIRAS, Luiz Paulo Rodrigues de Freitas. **Arbitragem estatística e inteligência artificial**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.
- PHILLIPS, P. C. B., e OULIARIS, S. **Asymptotic Properties of Residual Based Tests for Cointegration**. Londres: Econometrica, 1990.
- PHILLIPS, P.C.B.; PERRON, P. **Testing for a Unit Root in Time Series Regression**. Londres: Biometrika, 1988.
- RIBEIRO, C.O.; SOSNOSKI, A. A. K. B.; OLIVEIRA, S. M. **Um modelo hierárquico para previsão de preços de commodities agrícolas**. Rio de Janeiro: Revista Produção Online, 2010.
- RODRIGUES, L. S.; REZENDE, S.; MOURA, M.; MARCACINI, R. M. **Agribusiness time series forecasting using perceptually important events**. São Paulo: Latin American Computing Conference, 2018.
- SAID, S. E., DICKEY, D.A. (1984) **Testing for unit roots in autoregressive moving average models of unknown order**. Londres: Biometrika, 1984.
- SAES, Maria Sylvia Macchione; FARINA, Elizabeth Maria Mercier Querido. **O agribusiness do café no Brasil**. São Paulo: Milkbuzz, 1999.
- SANTOS, D. G. **Estimação de Volatilidade em Séries Financeiras**: Modelos Aditivos Semi Paramétricos e GARCH. Porto Alegre: UFRGS, 2008.
- SANTOS, V. F.; PEREIRA, M. W. G.; BRAGA, M. J.; VIEIRA, W.C. **Análise do preço do milho nos mercados externo e interno**. Brasília: Revista de Política Agrícola, 2007.
- SCHNAIDER, P. A. B.; SAES, M. S. M. **Estratégias na composição de blends no mercado internacional de café**: uma análise de cointegração. Paraná: Informe Gepec, 2013.



SCHOUCHANA, F.; SHENG, H.H.; DECOTELLI, C.A. **Gestão de riscos no agronegócio**: mercados futuros, opções e swaps. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2013.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR – SECEX. Resultados do Comércio Exterior Brasileiro – Dados consolidados. Disponível em: balanca.economia.gov.br/balanca/publicacoes_dados_consolidados/pg.html. Acesso em: out. 2025.

STANDER, Y.; MARAIS, D.; BOTHA, I. **Trading strategies with copulas**. África do Sul: Journal of Economic and Financial Sciences, 2013.

STOCK, J.; WATSON, M. **Testing for common trends**. Washington: Journal of the American Statistical Association, 1988.

U.S. Department of Agriculture - USDA; **Coffee**: World Markets and Trade Report. Estados Unidos: June 25, 2025.

VERBEEK, Jesse. **Statistical Arbitrage in Commodity Markets**: A Cointegration Approach. Holanda: University of Amsterdam, 2021.

VIDYAMURTHY, G. **Pairs trading**: Quantitative methods and analysis. Hoboken: John Wiley & Sons, 2004.

VILELA, E. H. P.; PENEDO, A. S. T. **Determinantes do comportamento dos preços do café brasileiro**: uma abordagem de redes neurais e artificiais. Minas Gerais: Revisata GETEC, 2023.

WILLIAMS, J. C.; WRIGHT, B. D. **Storage and commodity markets**. Nova Iorque: Cambridge university press, 2005.

WILLIAMS, J. C.; WRIGHT, B. D. **Storage and commodity markets**. Nova Iorque: Cambridge university press, 2005.

ZIVOT, E.; WANG, J. **Modelling Financial Times Series with S-Plus**. Nova Iorque: Springer-Verlag, 2003.