

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Programa de Pós-Graduação em Administração
Curso de Mestrado Acadêmico em Administração

Ramon Rodrigues dos Santos

CROSS HEDGE ENTRE ETANOL E AÇÚCAR NO BRASIL:
Uma Análise de Razão Ótima e Efetividade

João Pessoa - PB

2017



Ramon Rodrigues dos Santos

CROSS HEDGE ENTRE ETANOL E AÇÚCAR NO BRASIL:

Uma Análise de Razão Ótima e Efetividade

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Administração no Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal da Paraíba.

Área de Concentração: Administração e Sociedade
Linha de Pesquisa: Informação e Mercado

Orientador: Prof. Sinézio Fernandes Maia, Dr.

João Pessoa - PB

2017

S237c Santos, Ramon Rodrigues dos.
Cross Hedge entre etanol e açúcar no Brasil: uma análise de razão ótima e efetividade / Ramon Rodrigues dos Santos. - João Pessoa, 2017.
99 f.: il. -

Orientador: Sinézio Fernandes Maia.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/ CCSA

1. Administração. 2. Mercados de açúcar e etanol - Brasil.
3. Hedge – mercado futuro. I. Título.

UFPB/BC

CDU: 658(043)

Ramon Rodrigues dos Santos

CROSS HEDGE ENTRE ETANOL E AÇÚCAR NO BRASIL:

Uma Análise de Razão Ótima e Efetividade

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Administração pelo Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal da Paraíba.

Área de Concentração: Administração e Sociedade
Linha de Pesquisa: Informação e Mercado

Dissertação aprovada em: 22/02/2017

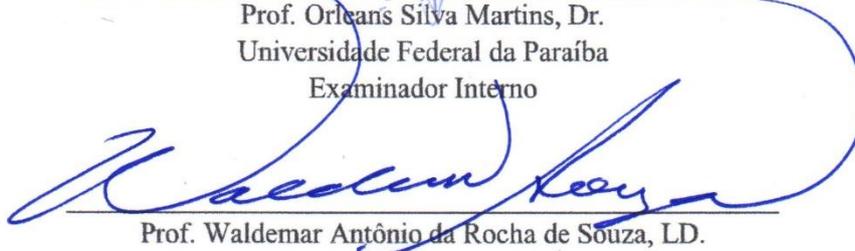
Comissão Avaliadora:



Prof. Sinézio Fernandes Maia, Dr.
Universidade Federal da Paraíba
Orientador



Prof. Orleans Silva Martins, Dr.
Universidade Federal da Paraíba
Examinador Interno



Prof. Waldemar Antônio da Rocha de Souza, LD.
Universidade Federal de Alagoas
Examinador Externo

João Pessoa

2017

A minha mãe, Geanny Rodrigues, por sua força inabalável. Pelos momentos bons e ruins, pelas noites mal (ou não) dormidas. De perto ou de longe. Palavras faltariam para te agradecer.

Te amo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Pai, por todas as provas do Seu amor, mesmo sem merecer.

Às mulheres da minha vida: as minhas irmãs, Rayana e Rafaela, pelo apoio e por entenderem a minha ausência. As minhas tias, Alda, Lizanka e Elizabeth, e a minha avó, Joselia, pelo exemplo. Esta vitória é nossa.

Ao professor Sinézio Maia, pela paciência, considerações na orientação deste trabalho, mas, sobretudo, por confiar este desafio a mim. Seu rigor teórico e prático durante as discussões, além das suas muitas reflexões foram de imenso valor para minha vida profissional e pessoal.

Aos membros da banca, Profs. Orleans Martins e Waldemar Souza, pelas contribuições e sugestões recebidas durante a qualificação e na defesa do trabalho final.

Aos Professores Orleans Martins, Carlos Eduardo, Franzé Costa, Marcelo Bispo, Aldo Callado, Ana Lucia Coelho, Renata Baldanza e Nelsio Abreu pelo conhecimento agregado durante este processo. Estendo aqui também o meu agradecimento aos funcionários da secretaria do PPGA/UFPB.

As minhas companheiras durante este período, Ana Karoliny e Nathállya Etyenne. O *Trio Finanças* é eterno.

À professora Vera Lúcia Cruz, pelos conselhos e por todos os momentos em que tive (e tenho) a honra de aprender com os seus ensinamentos. À Emanuelle, Geraldo, Ionara, Maysa e Sabrina, pela amizade construída na UFPB, e que levarei para toda a vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Confia no Senhor e faze o bem; habita na terra e alimenta-te da verdade. Agrada-te do Senhor, e ele satisfará os desejos do teu coração. Entrega o teu caminho ao Senhor, confia nEle, e o mais Ele fará.

Salmos 37:3-5

RESUMO

O objetivo desta dissertação foi o de estimar a efetividade do *cross hedge* entre as cotações à vista do etanol hidratado e do açúcar com os contratos futuros de etanol hidratado na BM&FBovespa e do açúcar nº 11 na *ICE Futures*. Para a realização desta pesquisa, foram utilizadas as séries de preços diários do etanol hidratado e do açúcar cristal disponibilizados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA/ESALQ-USP, das cotações do contrato futuro de etanol hidratado com liquidação financeira, disponibilizado no Sistema de Recuperação de Informações da BM&FBovespa e dos dados disponibilizados pela *ICE Futures U.S.* referentes ao contrato de açúcar nº 11, em um total de 753 observações por série, dividida em dois períodos: o primeiro, de 13/03/2013 a 24/09/2015 e o segundo, de 25/09/2015 a 10/10/2016. No primeiro modelo desta dissertação, a estimação se deu pelo *hedge* de variância mínima, através de mínimos quadrados ordinários. No segundo, a estimação foi realizada por um modelo por vetores autorregressivos, e com a finalidade de alcançar o objetivo geral deste trabalho, a abordagem metodológica utilizada baseou-se no modelo multivariado com heterocedasticidade condicional, o GARCH-BEKK, justificado pela necessidade de se considerar a modelagem de forma dinâmica através da matriz de variâncias e covariâncias condicionais das séries. Identificou-se uma causalidade Granger nas séries analisadas, exceto no *hedge* entre os preços do açúcar cristal à vista e dos contratos futuros do açúcar nº 11, fato que contribuiu para a ineficiência de *hedge* neste modelo. Dentre os modelos analisados no primeiro período, a que resultou em uma maior possibilidade na mitigação na variância da receita do *hedger* foi a do cruzamento entre os preços do açúcar brasileiro com os contratos futuros de açúcar com o modelo por MQO que estimou uma efetividade de aproximados 95%, com o modelo de variância mínima. Em seguida, a mesma relação foi a que apresentou uma melhor efetividade, só que com o modelo GARCH-BEKK, com 92%. Para o segundo período, os resultados pelo modelo de variância mínima, assim como no Período 1, foram o que apresentaram uma maior efetividade de *hedge*, com um destaque de uma cobertura completa no *hedge* entre as cotações do açúcar brasileiro e do contrato futuro americano. Na aplicação do GARCH-BEKK, os resultados destacaram que, quando considerada a dinâmica da volatilidade entre o final de setembro de 2015 e o início de outubro de 2016, os resultados não chegam aos 50%, deduzindo que o *hedge* neste período não foi efetivo e que não possibilitaria uma diminuição do risco aos *hedgers*.

Palavras-Chave: Mercado Futuro. *Hedge*. Etanol. Açúcar.

ABSTRACT

The objective of this dissertation was to estimate the effectiveness of the cross hedge between the hydrous ethanol and sugar futures quotations with the hydrous ethanol futures contracts at the BM &FBovespa and the Sugar 11 at ICE Futures. The daily price series of hydrated ethanol and crystal sugar provided by the Center for Advanced Studies in Applied Economics - CEPEA/ESALQ-USP, were used to calculate the future hydrous ethanol contract with financial settlement, BM&FBovespa's Information Retrieval System and the data provided by ICE Futures US for the sugar contract No. 11, in a total of 753 observations per series, divided into two periods: the first, from 03/13/2013 to 09/24/2015 and the second, from 09/25/2015 to 10/10/2016. In the first model of this dissertation, the estimation was based on the minimum variance hedge, using ordinary least squares. In the second, the estimation was performed by an autoregression vector model, and in order to achieve the general objective of this work, the methodological approach used was based on the multivariate model with conditional heteroscedasticity, GARCH-BEKK, justified by the need to consider modeling dynamically through the matrix of variances and conditional covariance of the series. A Granger causality was identified in the series analyzed, except for the hedge between the demanded sugar prices and the sugar futures contracts, which contributed to the hedge inefficiency in this model. Among the models analyzed in the first period, the one that resulted in a greater possibility in mitigating the variance of the hedger's income was the cross between the Brazilian sugar prices and the sugar futures contracts with the OLS model, which estimated an effectiveness of approximately 95%, with the model of minimum variance. Then, the same relationship was the one that presented better effectiveness, only with the GARCH-BEKK model, with 92%. For the second period, the results by the minimum variance model, as well as in Period 1, were the one that presented a greater effectiveness of hedge, with a highlight of a complete coverage in the hedge between the Brazilian sugar quotations and the American futures contract. In the application of GARCH-BEKK, the results pointed out that, when the volatility dynamics between the end of September 2015 and the beginning of October 2016 is considered, the results do not reach 50%, deducing that the hedge in this period was not effective and would not allow hedgers to reduce their risk.

Keywords: Future Market. Hedge. Ethanol. Sugar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Açúcar mundial.....	21
Figura 2 – Consumo de combustíveis no Brasil	23
Figura 3 - Preço Futuro acima do preço à vista	29
Figura 4 – Série do Etanol Hidratado à vista com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015	54
Figura 5 – Série do Etanol Futuro com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015.....	54
Figura 6 – Série do Açúcar à vista com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015.....	55
Figura 7 – Série do Açúcar nº 11 com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015.....	55
Figura 8 – Série do Etanol Hidratado à vista com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 25/09/2015 a 10/10/2016.....	60
Figura 9 – Série do Etanol Futuro com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 25/09/2015 a 10/10/2016.....	60
Figura 10 – Série do Açúcar à vista com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 25/09/2015 a 10/10/2016.....	61
Figura 11 – Série do Açúcar nº 11 com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 25/09/2015 a 10/10/2016.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise Exploratória dos Dados (com e sem o filtro HP, $\lambda=14440$, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015 – 560 observações)	57
Tabela 2 – Testes de Raiz Unitária e Estacionariedade (Filtro HP, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015 – 560 observações)	59
Tabela 3 – Análise Exploratória dos Dados (sem e com o filtro HP, $\lambda=14440$, Período 2: 25/09/2016 a 10/10/2016 – 193 observações)	63
Tabela 4 – Testes de Raiz Unitária e Estacionariedade (Em nível, Período 2: 25/09/2016 a 10/10/2016 – 193 observações)	64
Tabela 5 – Teste de Causalidade de Granger	65
Tabela 6 - Razão Ótima de Hedge com o MQO: Estimaco com o Etanol Spot (em 1ª diferena, Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015).....	66
Tabela 7 - Efetividade de Hedge com o MQO: Estimaco com o Etanol Spot (em 1ª diferena, Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015).....	66
Tabela 8 - Razão Ótima de Hedge com o MQO: Estimaco com o Açúcar Spot (em 1ª diferena, Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015).....	67
Tabela 9 - Efetividade de Hedge com o MQO: Estimaco com o Açúcar Spot (em 1ª diferena, Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015).....	67
Tabela 10 – Razão Ótima de Hedge com o MQO: Estimaco com o Etanol Spot (em 1ª diferena, Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016).....	68
Tabela 11 – Efetividade de Hedge com o MQO: Estimaco com o Etanol Spot (em 1ª diferena, Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016).....	68
Tabela 12 – Razão Ótima de Hedge com o MQO: Estimaco com o Açúcar Spot (em 1ª diferena, Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016).....	68
Tabela 13 – Efetividade de Hedge com o MQO: Estimaco com o Açúcar Spot (em 1ª diferena, Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016).....	69
Tabela 14 – Teste de Durbin-Watson	70
Tabela 15 – Teste de Park	70
Tabela 16 – Razão Ótima e Efetividade de Hedge com Modelo VAR (Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015)	71
Tabela 17 – Razão Ótima e Efetividade de Hedge com Modelo VAR (Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016)	72
Tabela 18 – Razão Ótima e Efetividade de Hedge com Modelo GARCH-BEKK (Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015)	74
Tabela 19 – Razão Ótima e Efetividade de Hedge com Modelo GARCH-BEKK (Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016)	74
Tabela 20 – Teste ARCH (36 defasagens)	88
Tabela 21 – Estimaces dos parâmetros do modelo GARCH-BEKK (1,1) Diagonal (D_ET_SPOT com D_ET_FUT).....	89
Tabela 22 – Estimaces dos parâmetros do modelo GARCH-BEKK (1,1) Diagonal (D_AC_SPOT com D_AC_FUT)	90
Tabela 23 – Estimaces dos parâmetros do modelo GARCH-BEKK (1,1) Diagonal (D_ET_SPOT com D_AC_FUT)	91
Tabela 24 – Estimaces dos parâmetros do modelo GARCH-BEKK (1,1) Diagonal (D_AC_SPOT com D_ET_FUT).....	92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
2 CARACTERIZAÇÃO DOS MERCADOS DE AÇÚCAR E ETANOL NO BRASIL.....	18
3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	27
3.1 Modelo de Mercado Futuro	27
3.2 Modelos de Razão Ótima e Efetividade	32
3.2.1 Modelos Estáticos	33
3.2.2 Modelos Dinâmicos.....	37
3.3 Estudos sobre Razão Ótima e Efetividade de Hedge à luz de uma revisão	39
4 METODOLOGIA	47
4.1 Períodos e Dados da Pesquisa	47
4.2 Estratégia Empírica: Modelo GARCH-BEKK	49
4.3 Razão Ótima e Efetividade com GARCH-BEKK	51
5 RESULTADOS	53
5.1 Análise Exploratória dos Dados.....	53
5.2 Estimação pelo Modelo de Mínima Variância	66
5.3 Estimação por Vetores Autorregressivos	71
5.4 Estimação com o GARCH-BEKK	73
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS.....	80
APÊNDICE A - Estimação do Modelo GARCH-BEKK	88
ANEXO A – Modelos estáticos tradicionais aplicados para razão ótima e efetividade do <i>hedge</i>.....	94
ANEXO B – Contrato Futuro de Etanol Hidratado da BM&FBovespa.....	95
ANEXO C – Contrato Futuro do Açúcar nº 11 da ICE Futures	98

1 INTRODUÇÃO

O conceito de risco pode ser considerado um dos pilares da gestão financeira, uma vez que as estratégias de tomadores de decisão são desenvolvidas geralmente em um ambiente de incerteza em relação aos seus resultados. Neste aspecto, o conhecimento e a análise dos fatores que podem gerar estas incertezas, apresentam-se como pontos fundamentais para a otimização dos processos decisórios dos referidos agentes.

Constantemente, agentes de mercado buscam uma estrutura ótima para a minimização das incertezas e da alocação de seus recursos, equilibrando as suas relações de risco com o retorno e, por consequência, uma utilidade esperada (COPELAND; WESTON; SHASTRI, 2005). Por sua vez, produtores buscam, para garantir a sua produção desde o plantio até a colheita, assegurar um preço que seja suficiente para que, além de cobrir os custos inerentes à atividade, possuam uma margem de lucro que permita a continuidade da sua produção.

Em linhas gerais, estes produtores estão expostos a três tipos de riscos, a saber: clima, crédito e preço, e que, para cada um destes riscos, apresentam-se ferramentas capazes de gerar eficiência para os respectivos agentes (SOUZA, 2013). Em relação ao risco de preços, a aplicação em instrumentos derivativos, por exemplo, foi impulsionada por esta necessidade de proteção (*hedge*) das variações de preços, proporcionando uma transferência deste risco para uma contraparte, e melhor gerenciamento da incerteza por meio dos mercados financeiros. (BM&FBOVESPA; CVM, 2015).

Com isso, o crescimento das negociações destes instrumentos, seja por meio dos derivativos de *commodities* ou financeiros permitiu debates na literatura econômica referente à participação destes papéis em negociações à vista, na realização de operações de *hedge* e na diversificação de carteiras de investimento. O termo *commodity* costuma estar relacionado aos insumos ou matérias-primas que não foram industrialmente transformados, o que por consequência, facilita a padronização no mercado e a ampla negociação em diversas localidades, uma vez que pode ser transportado e armazenado por um longo período de tempo, por exemplo (OLIVEIRA NETO, 2014).

Em geral, o preço de uma *commodity* deve ser baseado em fundamentos microeconômicos (das curvas de oferta e demanda). Entretanto, os desdobramentos macroeconômicos existentes em cada país e no exterior, associados às incertezas e negociações no mercado, são fundamentos também considerados para a formação deste preço. Quanto maior

o número de informações, os preços à vista (também denominados como preços *spot*¹) tendem a mudar mais rápido do que quando existe tranquilidade nos mercados, tornando-se mais voláteis, e esta volatilidade desempenha um papel importante no gerenciamento de risco e na dinâmica dos preços futuros (TSAY, 2010; LIEBERG, 2014).

Além disso, incertezas relacionadas às mudanças do clima, da segurança energética e alimentar, associadas à redução dos combustíveis fósseis, provocaram e aumentaram a volatilidade dos preços das *commodities* agropecuárias, e, sobretudo, àquelas relacionadas as energias renováveis e aos biocombustíveis, que, por sua vez, estão no topo da agenda das políticas energéticas de diversos países. Para a ANP (2015), a matriz energética mundial ainda é muito dependente dos combustíveis fósseis, um bem não renovável, logo, quaisquer movimentos em direção aos biocombustíveis tendem a “movimentar” os preços.

Logo, esta não-renovabilidade sustenta a tese de que se deve buscar combustíveis que lhes sejam alternativos, como as energias renováveis. No caso do Brasil, as principais fontes que compõem a sua matriz energética são o petróleo, o gás natural, a energia elétrica, o carvão mineral, a energia eólica, o biodiesel e produtos da cana-de-açúcar, sendo a mais relevante destas fontes atualmente, o etanol, uma energia renovável, alternativa a gasolina (TONIN; PARRÉ; TONIN, 2014).

De acordo com Tomasquim (2012) além do etanol, o Brasil é de fato, rico em alternativas de produção das mais variadas fontes, uma vez que a oferta de matéria-prima e a capacidade de produção em larga escala são exemplos para diversos países. Neste contexto, fontes como os derivados da cana-de-açúcar ganharão participação na matriz energética brasileira.

Dado o contexto de que os preços à vista do etanol negociados no Brasil, possuem um comportamento sazonal, uma vez que durante os meses de dezembro a março, na entressafra, as cotações tendem a elevar-se, caindo até o final do ano (MORAES; BACCHI, 2014), propõem-se alternativas de gerenciamento de risco ao estimar um número ideal ou ótimo de contratos futuros necessários para minimizar esta volatilidade no mercado à vista.

A questão é o quão efetiva seria esta proporção, isto é, se é eficiente operar o *hedge*, seja em relação a utilização dos mesmos ativos seja no mercado *spot* quanto no futuro, ou em uma proteção cruzada, conhecidas comumente como a razão ótima e efetividade do *own hedge*, ou de *cross hedge*, quando promove a relação do preço à vista de um ativo que busque liquidez no seu contrato futuro junto as cotações de uma *commodity* substituta.

¹ Ambas as denominações serão utilizadas nesta dissertação.

No Brasil, sabe-se que a produção do etanol é realizada por meio do processamento da cana-de-açúcar. Logo, a flexibilidade na produção do açúcar e do etanol na mesma unidade industrial se tornou uma variável importante para a maximização dos resultados das indústrias sucroenergéticas². Com isso, tendo em vista que os agentes de mercado realizam operações de *hedge* com a finalidade de minimizar os riscos decorrentes de flutuações indesejadas, a aplicação de modelos que busquem uma possível dependência entre os mercados do etanol e do açúcar, consideradas as dinâmicas entre estes mercados, denotaria uma alternativa para as operações de *hedge* pelos agentes econômicos no mercado doméstico e internacional.

No médio prazo, a expansão da oferta de energia e a necessidade por fontes renováveis atenderá a demanda de etanol, mediante o aumento da área de plantio de cana, a ampliação e implantação de unidades produtoras, bem como o uso de novas tecnologias, que aumentarão a eficiência de toda a cadeia produtiva (TOMASQUIM, 2012). Nesse aspecto, a preocupação com a dependência externa dos combustíveis fósseis tem levado a uma maior diversificação das fontes de energia, com preferência por fontes renováveis e de baixo impacto ambiental, aliados aos investimentos em ativos que possuam relação com o contexto das energias renováveis.

Considerado o fato que a bolsa de maior expressão na negociação de contratos futuros no Brasil é a BM&FBovespa e que a *ICE Futures U.S. (Intercontinental Exchange Futures United States)* tornou-se uma referência com os contratos futuros de açúcar, e ao lançamento dos contratos futuros do etanol hidratado com liquidação financeira na bolsa de valores brasileira em maio de 2010, propõe-se estimar a razão ótima e efetividade do *cross hedge* entre os preços do etanol hidratado da BM&FBovespa e os contratos futuros de açúcar americano, buscando estimar alternativas para um melhor gerenciamento de risco pelos agentes, ora mitigando as oscilações e os riscos originados pelas questões supracitadas.

1.1 Justificativa

Os reflexos da importância histórica e econômica do cultivo da cana-de-açúcar, tornaram o Brasil o maior produtor e exportador mundial de açúcar, além de impulsionar a consolidação do etanol como alternativa energética. Na safra 2014/2015, o Brasil permaneceu como o maior produtor de açúcar mundial, com aproximados 35,5 milhões de toneladas, ou 20% da produção global (ÚNICADATA, 2016b). Nesse sentido, considerada a significativa influência das variações dos preços internos e externos, a busca pela dinâmica dos preços destes

² A denominação *sucroenergético* surgiu como uma substituição ao termo *sucroalcooleiro*, com o advento da venda do excedente de energia produzida com a sobra do bagaço da cana (SANTOS *et al.*, 2016).

mercados representa uma importante função nas estratégias dos agentes de mercado, e especificamente, aos que trabalham com os instrumentos derivativos.

Consoante Santiago e Mattos (2014), os principais agentes e participantes da cadeia sucroenergética são os produtores de insumo, produtores de cana-de-açúcar, usineiros e as indústrias, que, além de expostos aos riscos, voltam as suas produções para os subprodutos da cana-de-açúcar, como o etanol anidro e hidratado. Esta característica permite que os produtores direcionem a sua produção para o produto que apresente os melhores sinais de mercado.

Neste contexto, o conhecimento das relações existentes entre o mercado interno e internacional de açúcar é importante no sentido de identificar o potencial que as citações dos contratos futuros destas bolsas possuem para serem utilizadas como referência dos preços a vigorarem no mercado doméstico físico. Em complemento, os preços do etanol, também produto da cana-de-açúcar podem ser diretamente influenciados pelo mercado de açúcar, sendo esta relação mútua (SANTIAGO; MATTOS, 2014).

Somada a relação entre o etanol e o açúcar, partindo do pressuposto que, dentre os tipos de risco existentes, o presente trabalho busca destacar o risco de preço, o gerenciamento deste pelos participantes da cadeia sucroenergética pode ser auxiliado pela tomada de posições nos mercados futuros, para minimizar a volatilidade do mercado à vista, assegurando, portanto, uma melhor flexibilização das suas estratégias.

A determinação dos preços de ambas as *commodities* é bastante complexa tanto pela descrição dos processos estocásticos que regem os preços, quanto pelo ponto de vista de previsões, dificultando a construção de estratégias (SOSNOSKI; RIBEIRO, 2012). Neste contexto, uma vez que estas situações são intempestivas, o agente pode ter acesso à ferramentas que tenham como finalidade mitigar o seu risco, trazendo uma razão ótima ao trabalhar com o *hedge* no mercado futuro com o objetivo de se proteger no mercado *spot*, seja com o ativo que possua as mesmas características em ambos os mercados (*own hedge*), ou com ativos ou derivativos que, mesmo não possuindo as mesmas propriedades, mitigam as incertezas do agente com uma proteção cruzada, o *cross hedge*.

Em relação aos procedimentos metodológicos para a estimação desta razão ótima e efetividade do *cross hedge*, Oliveira Neto, Garcia e Machado (2012) destacam que ainda não existe uma estratégia definitiva que estime a razão de *hedge* pela literatura, e qual destas seria superior para a cobertura de risco por meio do mercado futuro.

É possível identificar na literatura brasileira alguns trabalhos que buscaram identificar a aplicação de diversas metodologias no etanol hidratado e que, dão suporte as decisões dos *hedgers*, como o modelo de variância mínima, estimado por mínimos quadrados ordinários, e

o modelo por vetores autorregressivos, o VAR. Contudo, os estudos relacionados a efetividade e as razões de *hedge* seguiram com certa defasagem, a evolução das metodologias das séries temporais (RODRIGUES; ALVES, 2010; SOUZA, 2013).

Com a difusão dos princípios de estacionariedade e a consequente melhoria das inferências e possibilidades de regressões espúrias, ainda assim, desconsideram a dinâmica das variâncias e covariâncias dos seus respectivos preços. Neste contexto, a utilização de modelos dinâmicos de *hedge*, chamada de GARCH multivariados que estabelece esta relação e possibilita acomodar este problema, devido às restrições estabelecidas pelo modelo e a não necessidade de um grande número de parâmetros, ao contrário dos modelos estáticos para a estimação da razão ótima e de efetividade do *hedge*.

Além disso, a utilização de um GARCH-BEKK, por exemplo, baseia-se na premissa que grande parte das variáveis econômicas e financeiras são impactadas pelo mesmo conjunto de informações, de tal forma que as covariâncias condicionais aos conjuntos de informações, e não só as variâncias condicionais seriam diferentes de zero (TANAKA, 2005). Logo, a estimação por um modelo multivariado, caracterizaria uma utilização eficiente das séries temporais analisadas.

Considerado o fato que a bolsa de maior expressão na negociação de contratos futuros no Brasil é a BM&FBOVESPA (OLIVEIRA, 2012) e que a *ICE Futures* tornou-se uma referência com os contratos futuros de açúcar, propõe-se estimar a efetividade do *cross hedge* entre as cotações do etanol hidratado e do açúcar à vista com os contratos futuros de etanol hidratado na BM&FBovespa e do açúcar nº 11 na *ICE Futures*, com a finalidade de estimar alternativas para um melhor gerenciamento de risco pelos agentes, mitigando as oscilações e os riscos originados pelas questões supracitadas.

Em complemento, a utilização de parâmetros, como o cálculo da razão ótima e da efetividade de *hedge* ou *cross hedge*, podem contribuir para os investimentos no mercado futuro, dado que esta estimação deve colaborar no resultado auferido pelos agentes. Além disso, as operações realizadas pelos agentes devem levar em consideração a dinâmica do mercado, ou em linhas gerais, o risco inerente a estes investimentos, uma vez que a estimação da razão ótima e da efetividade de *hedge* ou *cross hedge* pode ser afetada pela volatilidade inesperada dos preços, resultando em prejuízos quando da liquidação do contrato futuro.

Com o uso dos princípios de estacionariedade e a consequente melhoria das inferências, que ainda assim, desconsideram a dinâmica das covariâncias e variâncias dos seus respectivos preços, a utilização de modelos dinâmicos de *hedge*, como o GARCH-BEKK possibilita acomodar esta lacuna relacionada ao comportamento dos preços, devido às restrições

estabelecidas pelo modelo e a não necessidade de um grande número de parâmetros, ao contrário dos modelos estáticos para a estimação da razão ótima e de efetividade do *hedge*.

Em linhas gerais, as volatilidades e co-volatilidades que serão retornadas pelo modelo econométrico serão a base para o cálculo da razão ótima e da efetividade do *cross hedge*. Logo, espera-se que a consideração das oscilações dos preços do etanol hidratado da BM&FBovespa e do açúcar da *ICE Futures U.S.*, e por consequência, os possíveis choques ocorridos em ambas as séries, sensibilizados na matriz de variância e covariância, proporcionem um instrumento de mais fidedigno aos que se servem de tal instrumento, alcançando o propósito deste trabalho.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Estimar a razão ótima e a efetividade do *cross hedge* entre as cotações do etanol hidratado e do açúcar com os respectivos contratos futuros no período de 2013 a 2016.

1.2.2 Objetivos Específicos

Analisar o processo de transmissão de volatilidade da BM&FBovespa e da *ICE Futures* para o etanol hidratado e o açúcar.

Averiguar a existência de causalidade entre as volatilidades das *commodities* estudadas.

Analisar a efetividade cruzada entre o etanol hidratado e o açúcar como processo de *hedge* na BM&FBovespa.

2 CARACTERIZAÇÃO DOS MERCADOS DE AÇÚCAR E ETANOL NO BRASIL

A produção de cana-de-açúcar é a atividade econômica mais antiga do Brasil, quando o país ainda era colônia de Portugal. As primeiras atividades relacionadas à produção do açúcar denotam do início dos anos 1500, com o primeiro engenho oficial fundado em 1532 na capitania de São Vicente, em São Paulo (RAMOS, 2016).

O açúcar é obtido, em sua maioria, de duas plantas cultivadas: a beterraba e a cana-de-açúcar. Enquanto a produção através da beterraba é restrita ao hemisfério norte, nas regiões de clima temperado, a cana-de-açúcar é cultivada na região tropical, que possui características que possibilitaram a sustentação do sucesso da produção de cana-de-açúcar até os dias atuais (GAVOTTI, 2012; SANTIAGO; MATTOS, 2014).

A oferta abundante de petróleo no final da década de 1980, e a conseqüente queda de preços no mercado internacional foram refletidos no preço do etanol. O etanol, por sua vez, um dos subprodutos do açúcar, teve a sua competitividade reduzida, exigindo por conseqüência, subsídios mais elevados. Por outro lado, as próprias cotações do açúcar fizeram com que os produtores dos dois produtos ou até mesmo que produziam somente uma das *commodities* direcionassem a matéria-prima para a produção do açúcar, com finalidade de exportar este produto (FURTADO, 1994).

Na primeira metade da década de 1990 ocorreu uma redução da demanda do açúcar dos países importadores tradicionais e um crescimento da demanda no mercado Africano, do Oriente Médio e do Sudeste Asiático. Além disso, o mercado importador expandiu e a tendência das exportações tomou uma maior proporção, permitindo aos produtores brasileiros ganhos de competitividade neste mercado, investimentos aplicados ao desenvolvimento tecnológico e por conseqüência, uma maior produtividade e redução de custos (SILVEIRA, 2004).

Neste mesmo período, o setor agrícola brasileiro estava passando de um regime de políticas direcionadas para uma economia fechada, com forte intervenção estatal, para um regime com uma menor participação do Estado e com os preços determinados pelo mercado. Neste aspecto, as conseqüências originadas da desregulamentação foram mais fortemente sentidas pelo setor sucroenergético, uma vez que foi um dos que mais intervenções sofreram no período (SILVA; BACCHI, 2005; CAMPOS, 2010)

No Brasil, o setor sucroenergético conquistou significativa importância de forma recente, mantendo o terceiro lugar no *ranking* de exportadores agropecuários, atrás somente do complexo do milho e da soja (NOVA CANA, 2016). Ademais, entre os anos de 2000 a 2010,

as exportações passaram de 1,23 para 13,77 bilhões de dólares, o que representou um avanço financeiro de 1.016 nas exportações deste setor (BRASIL, 2011).

Os dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura destacam que foram cultivadas mundialmente no ano de 2014, aproximados 25,7 milhões de hectares de cana-de-açúcar, dos quais 9 milhões foram cultivados no Brasil. Em 2015, a produção de açúcar alcançou 37,1 mil toneladas, sendo este volume proveniente das 655,4 mil toneladas de cana-de-açúcar produzidas (FAO, 2015).

No que concerne a maior produção no Brasil, o estado de São Paulo se revela com 52% de representatividade de toda a produção de cana. E, dentre as regiões produtoras da cana-de-açúcar, a região nordeste aponta-se como uma das principais, com a maior produção anual da *commodity* nesta região, situada no estado de Alagoas. Esse estado teve, na safra 2013-2014, uma produção de 1.728 mil toneladas, o que representou uma participação de 51,8% na região nordeste e de 5% na produção brasileira (CONAB, 2015; ÚNICA, 2015).

No ano de 2015, a área plantada no Brasil com cana-de-açúcar foi de aproximados 10,9 milhões de hectares, sendo destes, 9,7 milhões de hectares colhidos (aproximadamente 90% da área plantada), na região Centro-Sul³, que abrange 90% do total colhido neste período e sem registro de cultivos de hectares de beterraba açucareira (UNICADATA, 2016a). Em relação a produção do açúcar, foram 35,5 mil toneladas na safra 2014-2015, uma queda de aproximadamente 6% em relação à safra anterior, e de redução de 8% em relação à safra 2012/2013 (UNICADATA, 2016b).

Estimativas realizadas em dezembro de 2015 pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para a safra 2015/2016 apontam uma queda de aproximados 3% em relação à safra 2014/2015, chegando à uma produção de 34,6 mil toneladas de açúcar, devido à queda na produção nas regiões Norte (-27%), Nordeste (-8%) e Sudeste (-3%), com destaque para o estado de São Paulo (menos 597 mil toneladas), mas que ainda assim permanece como o principal produtor de açúcar no Brasil (CONAB, 2016). Na safra 2014/2015 sua produção foi de aproximadas 21,9 mil toneladas de açúcar, o que representa 62% da produção nacional e 68% da produção da região Centro-Sul.

De acordo com Ramos (2016), sessenta por cento do açúcar absorvido pelo mercado doméstico é destinado ao consumo direto, e o restante, destinado às indústrias de alimentos. Ressalta-se que, o açúcar é classificado como refinado ou bruto. O açúcar refinado é o produto pronto para o consumo ou mesmo o utilizado pelas indústrias, enquanto o açúcar bruto (ou

³ A região Centro-Sul agrega os estados produtores das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste.

açúcar VHP - *Very High Polarization*) necessita de um processo de refinamento para que seja consumido, devido à presença de características que o mantêm tóxico para o respectivo consumo pela sociedade.

Em relação ao mercado internacional, entre o final da década de 1970 até a primeira metade da década de 1990, as exportações de açúcar, realizadas pelo Brasil, representavam aproximados 8% do total mundial. Entretanto, após a abertura comercial, a desregulamentação e das alterações na política cambial⁴, o Brasil aumentou a sua participação no mercado a partir de 1995 (SANTOS *et al.*, 2016) e atualmente consolidou-se como o maior exportador mundial de açúcar.

Considerada a safra 2014/2015, a oferta mundial de açúcar é relativamente concentrada em seis regiões que juntas, representam 80% das exportações internacionais (Brasil, Tailândia, Austrália, Índia, Guatemala, União Europeia), tendo o Brasil aproximados 44% do volume total exportado mundialmente. As exportações brasileiras de açúcar alcançaram altos níveis nos últimos anos, e com isso, as perspectivas são de que o país continue a ser o maior produtor e exportador de açúcar mundial ao longo, pelo menos, dos próximos dez anos, com uma produção de 48,4 milhões de toneladas⁵.

O que corrobora com esta afirmação está relacionado ao Brasil estar entre as dez maiores economias do mundo e constar como o segundo maior fornecedor mundial de alimentos e produtos agrícolas, estando prestes a se tornar o maior, em um mercado hoje liderado pela Ásia (FAO, 2015). Em relação a demanda da *commodity*, que ao contrário das exportações é bastante pulverizada, teve a China como principal importador durante a safra 2014/2015, com 5,5 mil toneladas de açúcar, seguido pela Indonésia (3,2 mil toneladas), Estados Unidos (3,1 mil toneladas), União Europeia (2,8 mil toneladas) e Emirados Árabes Unidos (2,5 mil toneladas) (USDA, 2016).

Batalha e Silva (2009) destacam que o gerenciamento da cana-de-açúcar possui particularidades destacadas, como a sazonalidade, a variação de qualidade e a perecibilidade. A sazonalidade na disponibilidade está ligada aos regimes de safra e entressafra, que resulta por consequência em dificuldades na rentabilidade do capital investido. As variações de qualidade dependem das variações do clima e das técnicas de manejo, o que dificulta a padronização. E,

⁴ Com o final do regime de bandas cambiais e após o início da vigência da taxa de câmbio flutuante, as exportações brasileiras tiveram um novo impulso. Na época, mantidas outras variáveis constantes, o efeito da variação de 1% na taxa de câmbio causava um incremento de aproximados 3% das exportações de açúcar (SANTOS *et al.*, 2016)

⁵ Para as projeções da produção de açúcar no Brasil entre 2015 a 2024 foram consideradas como premissas a existência de políticas públicas para a produção do etanol, além da expansão da área de produção de cana-de-açúcar e o aumento de produtividade da cultura no país (FAO, 2015)

por fim, a perecibilidade está relacionada aos insumos que não podem ser estocados e que devem ser transformados rapidamente, demandando uma rápida logística e planejamento de produção.

Os custos de produção do açúcar no Brasil são significativamente mais baixos do que os dos demais exportadores da *commodity*, cabendo ressaltar que os custos de produção do açúcar bruto na região Centro-Sul são mais baixos do que na região Norte-Nordeste, devido à topografia e do clima mais favorável, melhor logística e da maior proximidade das usinas aos maiores centros consumidores do país. Pela ótica do produtor rural, os custos agrícolas têm sido responsáveis por grande parte dos ganhos que o preço da cana-de-açúcar viria a proporcionar, principalmente àqueles relacionados ao arrendamento de terra para o plantio (DEMCZUK, 2012; SOUZA, 2014).

Entretanto, quando analisados isoladamente, os custos de produção das usinas brasileiras, puxadas pela deterioração dos canaviais e da mão-de-obra foram maiores que o aumento real dos preços dos produtos, pressionando a margem econômica destas indústrias e dos seus produtores e por consequência, emitindo um sinal de alerta para a safra atual e gerando alterações no *mix* de produção das usinas (XAVIER et al., 2016).

No caso do açúcar brasileiro, o preço internacional é a principal referência para os agentes domésticos, tanto do lado da oferta, como da demanda (RAMOS, 2016). Os principais dados relacionados à produção, ao consumo, às exportações da *commodity* e ao estoque mundial do açúcar estão destacados na Figura 1.

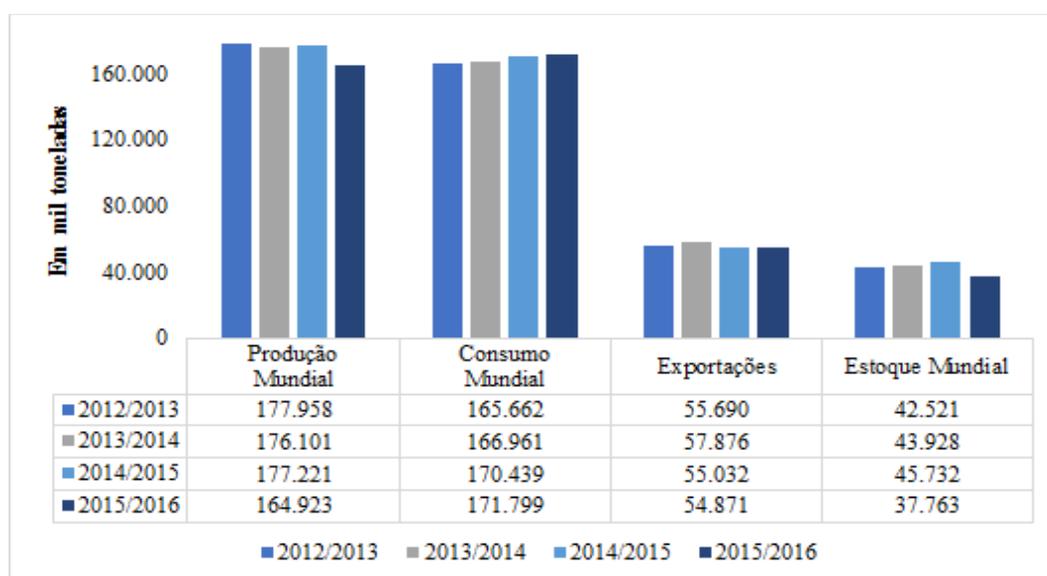


Figura 1 – Açúcar mundial
Fonte: USDA (2016)

Os principais mercados de negociação de contratos futuros de açúcar são localizados na *New York Board of Trade*, em Nova Iorque, e na *London International Financial Futures and Options Exchange*, em Londres, sendo estas as duas principais referências para a formação dos preços internacionais de açúcar. O preço do açúcar no mercado brasileiro, também determinado pelo preço do açúcar no mercado internacional, tem na bolsa de Nova Iorque a maior referência para explicar esta relação causal (SILVA, 2013).

As usinas moem cana-de-açúcar durante a safra, que normalmente pode durar até oito meses, no caso das produzidas no Centro-Sul (abril a novembro), ou sete (setembro a março), no caso da produção nas usinas nordestinas (MORAES; BACCHI, 2014). Com isso, a própria determinação do *mix* de produção de indústrias sucroenergéticas durante estes períodos é determinante, com o objetivo de direcionar a matéria-prima, dentro de uma mesma unidade produtiva, fabricando além do açúcar, o etanol, seja este anidro, adicionado à gasolina, ou hidratado, utilizado como combustível.

No Brasil, a BM&F lançou em setembro de 1995 o contrato futuro de açúcar cristal, que foi desativado em 20/08/2009 e retomado no início de 2013 (SANTIAGO; MATTOS, 2014). O contrato futuro de açúcar cristal negociado atualmente na BM&FBOVESPA possui liquidação financeira e está cotada em reais por saca, com duas decimais. O tamanho do contrato é de 508 sacas de 50 quilos líquidos, possui cinco meses de vencimento (fevereiro, abril, junho, setembro e dezembro) com as liquidações ocorrendo no dia 15 dos respectivos meses (BM&FBOVESPA, 2016b).

Por outro lado, o etanol é uma fonte de energia natural, sustentável e renovável que pode ser produzido a partir de diversas matérias primas, como trigo, beterraba, milho e no caso do Brasil, a partir da cana-de-açúcar, uma vez que a flexibilidade na produção do açúcar e do etanol na mesma unidade industrial se tornou uma variável importante para a maximização dos resultados das indústrias sucroenergéticas. Além disso, o biocombustível brasileiro possui resultados melhores quando comparados ao etanol produzido do milho, o que pode garantir ao etanol brasileiro o mercado norte-americano (NASTARI, 2014).

Outros fatos que justificam a utilização desta matéria-prima estão relacionados à tradição de quatro séculos no cultivo e utilização, a existência de solos adequados e não-escassos para o cultivo, além do próprio fornecimento do combustível necessário, o bagaço. Atrelam-se a esta dinâmica, uma alternativa para investimentos, o desenvolvimento econômico da atividade e a relação com o mercado internacional (LIEBERG, 2014; RAMOS, 2016).

Conforme a Associação Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2015), a relação de preços após a introdução dos veículos *flex* é menor que 0,7, favorecendo

um maior consumo da *commodity*⁶. Neste sentido, os dados da UnicaData (2016d) destacam uma evolução no consumo do etanol hidratado em aproximados 45% entre os anos de 2012 e 2015, conforme a Figura 2.

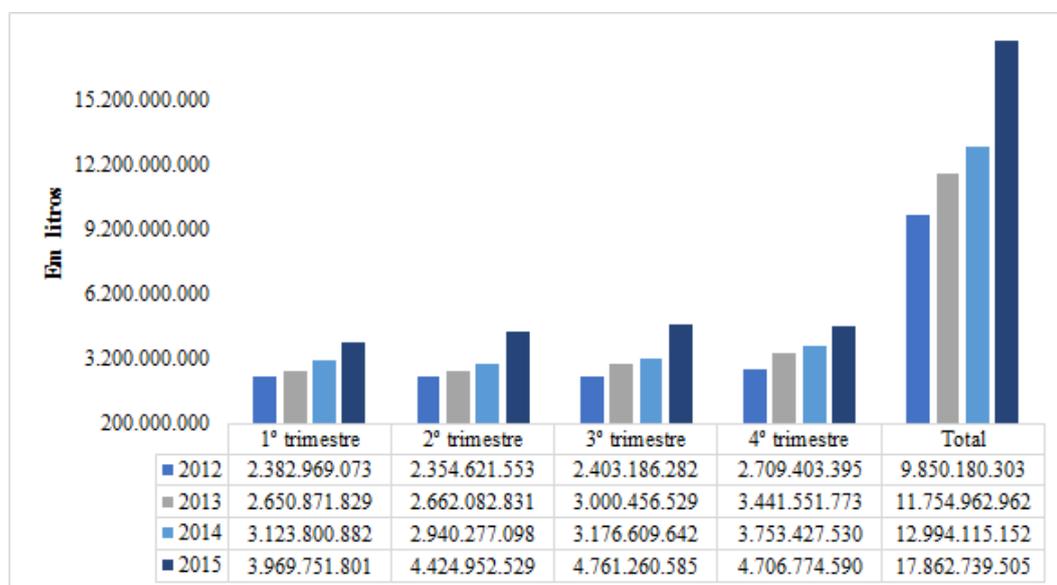


Figura 2 – Consumo de combustíveis no Brasil
Fonte: UNICADATA (2016d)

A formação de preços do etanol, além da dinâmica anteriormente citada, está essencialmente ligada à fatores de ordem micro e macroeconômica. Com isso, além dos determinantes da produção e da demanda do etanol, fundamentos e variáveis econômicas possuem estreita relação com a cotação desta *commodity*. Outro aspecto é que os agentes e analistas de mercado costumam questionar a importância destes fundamentos quando a volatilidade do mercado parece inexplicável (CAMPOS, 2010).

A demanda brasileira de etanol é dividida entre a demanda de etanol anidro e hidratado, sendo este utilizado como combustível puro e o anidro, misturado à gasolina. A valorização do álcool anidro no mercado interno intensificou-se com a Segunda Guerra Mundial, devido à escassez dos derivados de petróleo, e mais especificamente com o “choque do petróleo” em 1973 (VIAN; LIMA; ABDO, 2007).

Logo após, com a consequente origem do Proálcool (Programa Nacional do Álcool, em 1975), que financiou boa parte das destilarias autônomas no território brasileiro, ocorreu o estímulo para a produção do etanol hidratado em substituição à gasolina (MELO; SAMPAIO,

⁶ O rendimento do carro abastecido por etanol hidratado é 30% menor que o do veículo abastecido com gasolina, isto é, caso a relação entre o preço do etanol e o da gasolina seja de 0,7 (70%), o consumidor opta pela gasolina, e caso menor que 0,7, escolhe abastecê-lo com o etanol hidratado (SANTOS *et al.*, 2016).

2014; RAMOS, 2016). Neste aspecto, a produção do álcool como alternativa teve impactos relevantes na geração de empregos e na capacidade ociosa das usinas. Logo após, entre os anos de 1980 a 1986 ocorreu uma fase de consolidação do Proálcool (AZEVEDO; SANTOS; MAGALHÃES, 2012), e com isso uma expansão na produção da cana-de-açúcar, principalmente na safra 1984/1985, com um crescimento de 78% em relação à safra anterior.

Por consequência, a partir deste período a produção de etanol aumenta no mercado interno, com variação de aproximados 3,6 milhões de litros cúbicos entre 1984 e 1992, impulsionado em grande parte pela produção na região Centro-Sul, responsável por aproximados 92% deste aumento. Azevedo, Santos e Magalhães (2012) destacam que neste período, mesmo com a queda nos preços do petróleo, os consumidores continuaram optando pelo etanol devido ao seu preço atrativo e a própria redução de impostos para os automóveis movidos por este tipo de combustível.

Até meados de 2003, a substituição entre estes combustíveis ainda era baixa, uma vez que era necessário a troca dos veículos abastecidos por etanol ou gasolina para o consumo mais barato pelos recém-criados automóveis *flex-fuel* (MORAES; BACCHI, 2014; MACHADO, 2014). Entretanto, a partir deste período, a preocupação com as questões ambientais, emissões de poluentes, associadas à uma maior produção dos veículos *flex* no mercado doméstico e a maximização do retorno das usinas foram determinantes para estimular a produção do etanol hidratado permitiram a esta *commodity* competir com a gasolina, mesmo com a baixa cotação do petróleo (BALCOMBE; RAPSOMANIKIS, 2008).

De forma geral, a disponibilidade de fontes renováveis de energia, estratégica para qualquer economia, busca amenizar as lacunas das fontes não renováveis. Por outro lado, de acordo com Farina, Pereda e Viegas (2010), problemas relacionados à sazonalidade da matéria-prima, quebras de safra e a própria competição pela terra surgem como desafios para os que propõem produzir ou comercializar estas *commodities*. As empresas produtoras de etanol no Brasil, podem obter a cana-de-açúcar por duas formas: através da produção pela própria unidade industrial ou da compra de *commodity* de fornecedores especializados. Em geral, 60% da cana total moída é originada de culturas próprias, dada as características locais e temporais (GILIO, 2015).

Entre 2011 a 2013, as importações de etanol, apesar de inferiores ao volume exportado, alcançaram um montante de aproximados 1,8 bilhão de litros, e em 2014, de 452 milhões de litros, em sua grande maioria, importado dos Estados Unidos, com a finalidade de atender a demanda doméstica (ANP, 2015). Neste período, ocorreu novamente uma queda na produção do etanol para o abastecimento do mercado doméstico, devido em geral, a escassez de

investimentos do setor sucroenergético decorrente da crise do *subprime* (SANTOS *et al*, 2016), além da própria sazonalidade do etanol. De acordo com Bacchi, Lima e Bragato (2011), os preços à vista do produto no Brasil se eleva durante a entressafra, entre os meses de dezembro e março, caindo até meados do ano e retomando a tendência de alta a partir deste período.

Nesta direção, o consequente aumento das importações de etanol dos Estados Unidos pelo Brasil e a “forte queda recente nos preços do petróleo” (BISTAFA, 2016, p. 35) diminuiu as oportunidades de competitividade da *commodity* produzida no mercado doméstico. Em complemento, de acordo com o autor, o *2030 Framework for Climate and Energy Policies* no final de 2014 não definiu finalidades claras para os biocombustíveis além de 2020.

Em relação à negociação da *commodity* no mercado financeiro, as duas maiores bolsas de contratos futuros de etanol, a *Chicago Mercantile Exchange* (CME) e a *Chicago Board of Trade* (CBOT) iniciaram a negociação estes contratos em março de 2005, no entanto, cabe ressaltar que estes, os primeiros nos Estados Unidos, são baseados no milho, diferentemente do Brasil, processado através da cana de açúcar. Nos países europeus, o etanol gerado pela beterraba é bastante difundido, apesar de, assim como o trigo e o milho, ter uma eficiência energética inferior ao obtido pela cana-de-açúcar (MACHADO, 2014).

No Brasil, os contratos futuros de etanol, *a priori*, anidro, iniciaram a sua atividade em 2000, com a cotação em reais por metro cúbico (RS/m³) na praça de Paulínia, em São Paulo (NASTARI, 2014) no entanto, uma vez que o contrato não possuía liquidez, os últimos negócios foram realizados entre os exercícios de 2007 e 2008, a partir de uma reformulação deste contrato, cuja praça passou a ser a da cidade de Santos, também em São Paulo, no entanto com uma nova finalidade de transformá-la em uma *commodity* internacional, passando a ser cotado em dólares por metro cúbico (US\$/m³).

Em 17 de maio de 2010, a BM&FBovespa retoma a negociação do contrato futuro do etanol, neste caso o hidratado, através do ofício circular 018/2010-DP, mais uma vez como uma alternativa de mitigar os riscos dos agentes e buscando ampliar a utilização de mecanismos de gestão de risco, como o *hedge* (TONIN; PARRÉ, TONIN, 2014). As principais características deste contrato estão destacadas no Anexo B desta dissertação.

Considerado o fato de que as políticas nacionais para a internacionalização do etanol não se resumem aos incentivos comerciais, mas também aos aspectos citados, uma possível crise na agricultura poderia gerar além de uma alta no nível de preços e no nível da inflação, um consequente impacto nas exportações do etanol. Em linhas gerais, o crescimento do etanol brasileiro ao comércio internacional é notável, principalmente devido ao seu uso crescente

como combustível adicionado à gasolina e a própria diversificação energética no sistema internacional (MACHADO, 2014).

Neste contexto, a dinâmica na produção do etanol e a contribuição deste produto para a política energética brasileira e global, somado às projeções de preços e variações nas cotações do açúcar podem afetar mais diretamente na relação entre os produtores e os consumidores finais do etanol hidratado, que podem buscar ganhos no mercado internacional ou até mesmo em estratégias de comercialização. Com isso, basear-se em estratégias que protejam as suas operações nos mercados de derivativos, como o mercado futuro, poderá minimizar as incertezas provenientes das oscilações do mercado.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Modelo de Mercado Futuro

O conceito de média-variância desenvolvido por Harry Markowitz (1952) demonstrou que a construção de *portfolios* ótimos poderia minimizar a volatilidade intrínseca às carteiras de investimentos, a partir de uma dada expectativa de retorno do investidor. Conforme Copeland (2005), a evolução dos procedimentos metodológicos e econométricos para a mensuração destes dois estimadores passou por diversas evoluções, utilizando inclusive instrumentos derivativos, como os mercados futuros.

Os mercados futuros surgiram como uma extensão e um aperfeiçoamento de técnicas comerciais originadas na Idade Média, a partir da incerteza que os produtores e comerciantes tinham sobre o quanto poderiam receber ou pagar determinado produto. Os agricultores, dependentes dos resultados de suas colheitas, precisavam assegurar um valor tal que cobrissem os seus custos, assegurando além disso, uma margem de lucro suficiente para a continuidade das atividades agrícolas. Os comerciantes, por outro lado, considerado os aspectos de oferta e demanda, se deparavam com preços mais favoráveis, no entanto, com preços mais elevados, quando esta oferta era menor (SOUZA; MARTINES FILHO; MARQUES, 2011).

O mercado futuro formalmente constituído remonta à criação da *Chicago Board of Trade* (CBOT) em 1848, com a principal função de padronizar as quantidades e as qualidades dos grãos ora negociados. Logo, em 1849, o primeiro contrato futuro, denominado contrato *to-arrive*, foi desenvolvido. De forma histórica, após a comercialização de diversas *commodities* agrícolas, em 1918, este mercado passou a se chamar *Chicago Mercantile Exchange*, denominada por vezes apenas CME, que, em 1972 iniciou com as negociações de futuros sobre moedas estrangeiras (HULL, 2011).

Entre os anos de 2014 e 2015, a negociação no mercado futuro evoluiu aproximados 19,3%, com uma quantidade de transações próximas aos 14,5 bilhões de contratos em 2015 (FIA, 2016). Quando este volume é somado aos contratos de opções⁷, o número total sobe para aproximados 25 bilhões de contratos em 2015, nas 78 principais bolsas de valores mundiais.

⁷ No mercado de opções são negociados contratos que garantem o direito de compra ou venda de um determinado ativo em um prazo estipulado, a um determinado valor. Este fato distingue as opções dos contratos futuros. O detentor de uma posição comprada em futuros tem o compromisso de comprar o ativo a certo preço em uma determinada data no futuro. Por outro lado, o titular das opções de compra possui o direito de comprar o ativo a certo preço em determinada data no futuro, mediante o pagamento de um prêmio ao lançador ou a contraparte da operação (HULL, 2011).

O mercado futuro tem como finalidade assegurar o preço tanto para o vendedor de determinado produto, seja este agrícola, financeiro ou em balcão⁸, quanto para o comprador, mitigando perdas provenientes das constantes mudanças econômicas dos respectivos setores, ou que ocorrem externamente, possibilitando ganhos ao agente. Ademais, os mercados futuros possuem uma maior probabilidade de apresentarem liquidez à medida que a estrutura de seu mercado físico se aproxime de um ambiente competitivo. Neste aspecto, três operadores podem ser identificados neste mercado: os especuladores, os *hedgers* e os arbitradores (HULL, 2011).

Os especuladores são os agentes que entram no mercado futuro com a finalidade de almejar e maximizar ganhos financeiros a partir das oscilações nos preços do ativo negociado em um dado mercado, e com isso, dispendo-se a correr riscos, apostando em uma determinada direção do mercado. Estes agentes podem ser representados por pessoas físicas, instituições filantrópicas, educativas, além de corretoras e fundos de pensão, e são responsáveis pela liquidez de uma bolsa.

Os *hedgers* são agentes que utilizam os mercados futuros com a finalidade de mitigar a exposição ao risco das oscilações de um ativo no período futuro, através de posições de compra e de venda. No *hedge* de compra, o agente ganha quando o preço do ativo decresce e perde quando o preço do ativo aumenta, enquanto no *hedge* de venda, a companhia ganha quando o preço do ativo aumenta e perde quando o preço do ativo cai.

Por fim, os arbitradores são os agentes que tomam posições simultâneas em dois ou mais mercados com a finalidade de travar ganhos sem risco. Estes investidores atuam no mercado futuro utilizando os instrumentos de derivativos - contratos a termo, contratos de opções ou com o próprio contrato futuro.

Em relação ao mercado agropecuário, a incerteza quanto ao clima, as pragas, doenças, além das mudanças nos cenários políticos e flutuações nos preços dos produtos, fazem com que as negociações em mercado futuro funcionem como um instrumento de gerenciamento dos riscos de preços, e por consequência, de *hedge* contra o risco de flutuação de preço (WORKING, 1962).

⁸ Consoante Hull (2011) nem todos os negócios são realizados nas bolsas de valores. Outro segmento, o mercado de balcão, é caracterizado por negócios que são realizados entre duas instituições financeiras ou entre uma instituição financeira e o cliente corporativo. Estas instituições recebem o nome de *dealers* e atuam como *market makers* com a finalidade de cotar os preços de compra e de venda. A vantagem do mercado de balcão está relacionada com os termos do contrato futuro, negociados livremente e que não precisam ter o mesmo rigor tal qual um contrato negociado em bolsa.

Além disso, o ingresso de *noise traders*⁹ nestes mercados e a possibilidade de arbitragem em contratos de *commodities* que em sua origem são de liquidação financeira (e não da *commodity* física) desestabilizaria as cotações no mercado à vista, incorrendo em um maior risco de base (NOGUEIRA, 2013). O risco de base é conceituado como a diferença entre as cotações *spot* e futuro gerado pela incerteza do *hedger* sobre qual será a base no vencimento do contrato. Esta base pode ser formada pela taxa de juros; custo de carregamento; receitas decorrentes de juros, dividendos, aluguéis e outros proventos inerentes a algumas mercadorias e valores mobiliários empregados como ativo subjacente de contratos derivativos; variações de preços decorrentes de sazonalidade; e, restrições na liquidez de mercado (HULL, 2011).

O comportamento desta base pode ser considerado o maior determinante para o sucesso ou fracasso dos operadores de mercado em suas negociações, uma vez que através da relação entre os mercados *spot* e futuro, é que estes agentes poderão especular, arbitrar ou proteger-se em um determinado momento.

Conforme a Figura 3, à medida que o mês de entrega de um contrato futuro (seja este através da entrega do produto ou da liquidação financeira do contrato) se aproxima, o preço futuro converge para o preço *spot* do ativo subjacente, uma vez que os compradores e vendedores percebem a diferença e tomam posições para se beneficiar levando os preços ao equilíbrio (HULL, 2011).

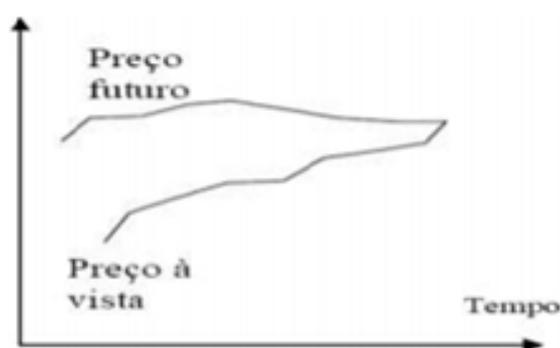


Figura 3 - Preço Futuro acima do preço à vista
Fonte: Hull (2011)

Caso o preço futuro seja superior ao preço à vista, os operadores poderiam vender o contrato futuro ou realizar a entrega do ativo subjacente, aproveitando esta oportunidade de ganho, auferindo lucro e fazendo com que a cotação do ativo caia. Caso o preço à vista seja

⁹ *Noise Traders* são agentes que possuem dificuldade na interpretação das oscilações nos preços, o que faz com que assumam posições de acordo com a tendência observada nas cotações, provocando exacerbação do movimento e consequente afastamento do valor justo do ativo (NOGUEIRA, 2013).

superior ao preço futuro, os agentes poderiam encontrar uma oportunidade de comprar estes contratos futuros, tendenciando a subida deste preço.

Quando a base é negativa, isto é, quando o preço *spot* é menor que o preço futuro, este fenômeno pode ser denominado como *Contango* ou *Forwardation*. Quando positiva, isto é, quando o preço à vista é maior que o futuro (Figura 5), ele poderá ser denominado de *Backwardation* (HULL, 2011).

Conforme visto, o mercado futuro está propenso às atividades especulativas e aos desequilíbrios que podem distorcer o processo de determinação dos preços. Com isso, quando um novo contrato futuro é desenvolvido pela bolsa, deve-se detalhar a exata natureza do acordo entre as partes, compreendendo desde a especificação do ativo negociado, até o limite de posições que poderão ser realizadas, a fim de que não ocorram possíveis ambiguidades na negociação (HULL, 2011).

1. **Especificação do Ativo:** Estipular o tipo ou tipos da *commodity* aceitáveis para entrega;
2. **Tamanho do Contrato:** A quantidade do ativo a ser entregue - se o tamanho do contrato for muito grande, muitos investidores, que desejam proteger posições pequenas ou que querem assumir posições especulativas relativamente pequenas, ficarão impossibilitados de operar o contrato. Por outro lado, se o contrato for muito pequeno, a negociação será muito cara, levando em conta que haja custos associados a cada contrato negociado;
3. **Procedimentos de entrega** (no caso de contratos que envolvem a *commodity* física): Especificação dos locais onde a entrega pode ser realizada. Este aspecto é de fundamental importância para *commodities* que envolvem custo de transporte significativo;
4. **Meses de Entrega** (no caso de contratos que envolvem a *commodity* física): A bolsa especifica o período exato, durante o mês, em que a entrega pode ser realizada. Em muitos contratos futuros, o período de entrega ocorre durante o mês inteiro;
5. **Cotações de Preço:** Os preços devem ser cotados de forma conveniente e de fácil entendimento. Por exemplo, o preço do etanol hidratado negociado na BM&FBovespa é cotado em reais por metro cúbico (1.000 litros), com duas casas decimais;
6. **Limites diários de oscilação de preço:** Limites diários são especificados pela bolsa e têm por objetivo evitar a ocorrência de grandes movimentos de preço por causa de excesso de especulação. Se o preço se move para baixo em magnitude igual ao limite diário, diz-se que o contrato está no limite de baixa (*limit down*). Se o preço se move para cima até o limite, diz-se que o contrato está no limite de alta (*limit up*) e;

7. **Limites de Posições:** Correspondem ao número máximo de contratos que um possível especulador pode manter. O objetivo dos limites é evitar que estes especuladores exerçam influência indevida no mercado.

A detalhada especificação permite uma redução na assimetria de informações e, com a inclusão destes contratos futuros na matriz de decisão dos agentes de mercado induz, por meio destes instrumentos, uma forte atração dos agentes bem informados, que antes atuavam apenas no mercado à vista (SILVEIRA; MACIEL; BALLINI, 2014). Neste contexto, a complexidade na gestão de risco dos produtos agrícolas proporciona a utilização de outros instrumentos ou ferramentas de proteção para o *hedge*.

Em linhas gerais, a ideia principal do *hedge* está relacionada a compra e venda de contratos futuros e a realização de posições opostas no mercado físico, com a finalidade de proteger-se as variações contrárias dos preços. Não obstante, a utilização do *hedge* ainda expõe o agente ao risco de base, uma vez que o mercado futuro não esgota totalmente o risco quanto à oscilação dos preços, entretanto, reduzindo de forma segura. Por indução, o *hedge* não melhora necessariamente a possibilidade de ganhos pelo agente, uma vez que a finalidade é a da transferência dos riscos que são inerentes às operações ao operador com posição oposta, entretanto, permitindo que o resultado final se torne mais previsível e menos volátil (MONTEIRO et al., 2013; CARMONA et al., 2014).

Quanto maior o número de participantes no mercado para uma determinada *commodity*, maior a atração dos agentes em busca do *hedge* e por consequência, maior a expectativa de liquidez para o respectivo derivativo (HULL, 2011). Neste aspecto, em uma *commodity* na qual a sua oferta e demanda esteja concentrada em poucos agentes, tende a ser manipulada com a finalidade de maximizar os resultados. Com isso, são diversas as estratégias de *hedge* aplicadas pelo mercado com a finalidade de se proteger através do mercado futuro, com o *hedger* podendo entrar no mercado e travando o preço futuro através de uma proteção cruzada, isto é, com outro derivativo que também possa garantir a cobertura dos seus custos de produção, além de gerar um certo nível de rentabilidade proporcional ao risco do investimento. Esta alternativa é denominada de *cross hedge*.

Em linhas gerais, o *cross hedge* é estimado exatamente da mesma maneira como em uma operação de *own hedge*, isto é, em que a operação no mercado futuro é realizada com o

ativo subjacente¹⁰ no mercado *spot* (ANDERSON; DANTHINE, 1981), com a sua razão ótima sendo estimada exatamente da mesma forma como em um *own hedge*.

A não existência dos contratos futuros compatíveis com o padrão do ativo no mercado físico não só foi um dos principais motivadores da concepção do *cross hedge* como também implicou a aplicação de diversos testes empíricos sobre o desempenho desta ferramenta no mercado. Caso o *cross hedge* seja mais eficaz que o *own hedge*, os agentes podem ser desestimulados a utilizar o contrato futuro do ativo subjacente ao do preço à vista, o que originaria na baixa negociabilidade deste contrato e ao possível desaparecimento (BRORSEN; FOFANA, 2001; OLIVEIRA NETO, 2014).

3.2 Modelos de Razão Ótima e Efetividade

A busca por modelos e estratégias de *hedge* que possam prever as oscilações dos preços, e em específico das relações entre os mercados à vista e futuro são recorrentes na área de Finanças. De forma geral, caso as posições realizadas no mercado *spot* estejam iguais as no mercado futuro, o resultado final deste processo seria uma operação perfeita, destacada como um *hedge* completo, também denominado de *full hedging* (BODIE; ZANE; MARCUS, 2010).

Por indução, a ideia do *full hedging* está baseado em um mercado eficiente, no qual todo o conjunto de informações no mercado futuro permite uma cobertura completa pelo agente no mercado *spot*. Neste tipo de mercado, os produtos são homogêneos, isto é, sem variação de qualidade e perfeitamente substitutos, não existe poder de mercado, as informações são simétricas e não possuem custos de transação (GEORGIU, 2011).

No entanto, como visto, ambas as teorias desconsideram o prêmio de risco que pode ser auferido a partir da especulação dos preços, e que a efetividade do *hedge* em mercados futuros é eficiente, o que não é uma verdade absoluta pela literatura e aos agentes de mercado. Além disso, especificamente às *commodities* agrícolas, a sua transmissão não é perfeita (ALEXANDRI, 2011), uma vez que a característica dos produtos agrícolas faz com que a sua amplitude seja volátil.

Neste contexto, o presente tópico tem a finalidade de revisar os principais modelos aplicados nos estudos brasileiros para o cálculo da razão ótima e efetividade de *hedge*, com a finalidade de calcular a proporção a ser operacionalizada no mercado futuro, mitigando o risco

¹⁰ No ativo subjacente, os padrões dos contratos futuros têm características iguais às dos ativos no mercado à vista (OLIVEIRA NETO; MAIA; REZENDE, 2015)

de preço e maximização da utilidade do *hedger*. Estes modelos serão, neste trabalho, separados em dois grupos: os modelos estáticos e os dinâmicos.

3.2.1 Modelos Estáticos

Ederington (1979) baseado nos estudos de Johnson (1960) e Stein (1961)¹¹, buscou valorar a quantidade ótima de contratos futuros que mitigariam a volatilidade dos preços no mercado à vista, em detrimento ao estabelecido pela estratégia de *full hedging*, denominado de razão de *hedge* ótima ou de variância mínima, ao mercado norte-americano.

Baseado no modelo de Mínimos Quadrados Ordinários, a estimação desta razão utilizou o coeficiente angular da regressão simples das variações dos preços *spot* em primeira diferença em relação à variação dos preços futuros, também em primeira diferença. Neste aspecto, a equação em diferença dos preços foi representada como:

$$(\Delta S_t) = \alpha + \beta x (\Delta F_t) + \varepsilon_t \quad (1)$$

Em que: $\Delta S_t = S_t - S_{t-1}$ ou seja, a variação do preço *spot* da *commodity* entre o período t e $t - 1$; $\Delta F_t = F_t - F_{t-1}$ ou seja, a variação do preço futuro da *commodity* entre o período t e $t - 1$; α e β os parâmetros a serem estimados, em que o β destaca a razão ótima de hedge de variância mínima e, por fim, ε_t o erro estocástico, com média zero e variância constante.

Com isso, o autor através de MQO buscou mitigar a variância a partir da soma dos quadrados dos resíduos. Ao aplicar a teoria do portfólio à determinadas posições com o objetivo de minimizar o risco do retorno em função da posição futura, e derivando-se a receita do *hedger* em relação à razão do hedge (h) e igualando a zero, tem-se a razão do *hedge* que proporcionaria a receita de variância mínima, o hedge ótimo, ou h^* (EDERINGTON, 1979; HULL, 2011).

$$\frac{\partial \sigma_h^2}{\partial h} = -2\sigma_{pf} + 2h\sigma_f^2 = 0 \quad (2)$$

$$\sigma_{pf} = h\sigma_f^2 \quad (3)$$

¹¹ Os autores deram seqüência ao estudo de Working (1953), que introduziu a ideia de maximização do lucro via *hedge* para os produtores e donos dos armazéns, caracterizando o *hedger* como um maximizador da utilidade esperada através das operações no mercado à vista e futuro. De acordo com o autor, as motivações para realizar o *hedge* estariam associadas a: 1. Facilitar as decisões de compra e venda; 2. Proporcionar mais liberdade para as decisões empresariais; 3. Dispor de base confiável para efetuar o armazenamento dos excessos de oferta de *commodities* e; 4. Reduzir os riscos empresariais.

$$h = \frac{\sigma_{pf}}{\sigma_f^2} = \frac{cov(\Delta S_t, \Delta F_t)}{var(\Delta F_t)} \quad (4)$$

Em que: σ_{pf} é a covariância entre a mudança do preço no mercado *spot* e do preço futuro e σ_f^2 a variância da mudança do preço no mercado *spot*.

Neste aspecto, o h expressa a relação da covariância entre as variações nos preços futuros e à vista com a variância do preço futuro, estimando a proporção na mitigação na variância dos preços da posição total do agente, isto é, o mercado físico mais o futuro (SOUZA; MARTINES FILHO; MARQUES, 2011). Logo, quanto maior o coeficiente de determinação, mais eficiente seria a operação de *hedge*, considerado o fato que existiria uma maior explicação das variações nos preços futuros em relação aos preços *spot*.

Por oferecer uma metodologia relativamente simples, e que empiricamente, contrariou a teoria do *full-hedging* (a proporção 1:1 entre mercado *spot* e futuro) a significativa aceitação do modelo de variância mínima foi seguida por inúmeras críticas dos pesquisadores relacionados à área de econometria de séries temporais, uma vez que o modelo por exemplo, desconsiderava a heterocedasticidade explícita na modelagem de séries financeiras e a correlação serial nos resíduos do MQO (PARK; BERA, 1987; HERBST; KARE; MARSHALL, 1993).

Outra lacuna apresentada pela estimação por MQO está relacionada a covariância da variável dependente e explicativa junto a variância dessa variável explicativa na determinação do *hedge* ótimo, uma vez que estas não seriam constantes, conforme estimado pelo modelo de Ederington (1979) e sim, dependentes de um conjunto de momentos condicionais.

Isto significaria dizer que o modelo convencional de MQO assume que o risco no mercado físico e no mercado futuro seria constante ao longo do tempo e que, por consequência, a estimação da razão ótima de *hedge* que minimizaria este risco seria independente deste tempo. Além disso, a estimação da razão ótima e efetividade de *hedge* via MQO poderá gerar uma regressão espúria, caso estes resíduos sejam autocorrelacionados.

Com a finalidade de eliminar a correlação serial das variáveis, Sims (1980) propôs uma modelagem sob a estrutura de um vetor autorregressivo bivariado, o VAR, considerando mais de uma variável da regressão como endógenas. Com isso, a variável dependente é explicada por valores correntes e defasados de ambas as variáveis, isto é:

$$\begin{cases} \Delta S_t = c_s + \sum_{i=1}^k \beta_{si} \Delta S_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{si} \Delta F_{t-i} + \mu_{st} \\ \Delta F_t = c_f + \sum_{i=1}^k \beta_{fi} \Delta S_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{fi} \Delta F_{t-i} + \mu_{ft} \end{cases} \quad (5)$$

Em que: c_s e c_f são os interceptos; β_{si} e β_{fi} os parâmetros positivos; μ_{st} e μ_{ft} são os vetores aleatórios independentes e identicamente distribuídos (i.i.d).

Neste aspecto, conforme Oliveira Neto et al. (2010), a aplicação do VAR implica em decidir qual o comprimento de defasagem k ótimo, que ora inicia em $i = 1$ e com o acréscimo de mais uma unidade a cada interação com o objetivo de que a correlação residual seja eliminada do sistema de equações. Com isso, se $var(\varepsilon_{st}) = \sigma_{ss}$, $var(\varepsilon_{ft}) = \sigma_{ff}$ e $cov(\varepsilon_{st}, \varepsilon_{ft}) = \sigma_{sf}$, a razão ótima de hedge pode ser considerada como

$$h = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_{ff}} \quad (6)$$

De acordo com Lien e Luo (1994) um investidor que omite a co-integração entre os preços à vista e futuros dos estimadores utilizados pode tendenciar os seus resultados para baixo devido aos problemas de especificação. Em termos gerais, ao omitir a co-integração, o investidor pode adotar uma posição menor que a razão ótima, ocasionando uma menor efetividade de *hedge*.

Com isso, a modelagem dos estimadores por um vetor autorregressivo bivariado com correção de erro (VEC) tem a finalidade de levar em consideração o “equilíbrio de longo prazo entre os movimentos das séries de preços” (OLIVEIRA NETO; GARCIA; MACHADO, 2012, p. 7).

O VEC trata-se de um vetor autorregressivo (VAR) restrito pela relação de longo prazo que existe entre as variáveis do modelo, ou seja, permitindo erros de curto prazo, entretanto, restringindo a relação de longo prazo existente entre as variáveis, a co-integração, ao contrário do VAR. Com isso, a equação do VEC é representada por (LIEN; LUO, 1994):

$$\begin{cases} \Delta S_t = c_s + \sum_{i=1}^k \beta_{si} \Delta S_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{si} \Delta F_{t-i} + \gamma_s Z_{t-1} + \mu_{st} \\ \Delta F_t = c_f + \sum_{i=1}^k \beta_{fi} \Delta S_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{fi} \Delta F_{t-i} - \gamma_f Z_{t-1} + \mu_{ft} \end{cases} \quad (7)$$

Em que: c_s e c_f são os interceptos; β_{si} , β_{fi} , γ_s e γ_f são os parâmetros positivos; μ_{st} e μ_{ft} são os vetores aleatórios independentes e identicamente distribuídos (i.i.d) (ruídos brancos) e Z_{t-1} são os termos de correção do erro, que tem como finalidade medir como ΔS_t e ΔF_t se ajustam aos desvios dos períodos anteriores originados pelo equilíbrio no longo prazo, isto é,

$$Z_{t-1} = S_{t-1} - \alpha F_{t-1} \quad (8)$$

da qual α é o vetor de co-integração. Os coeficientes γ_s e γ_f representam a velocidade de ajustamento. Com isso, quanto maior γ_s , maior a resposta de S_t aos desvios anteriores devido ao equilíbrio de longo prazo.

Neste contexto, os erros de curto prazo são corrigidos garantindo o equilíbrio existente a longo prazo. A principal finalidade dos modelos VAR ou VEC é o de examinar os efeitos dos choques individuais sobre a dinâmica do sistema. Com isso, se faz necessário diagonalizar a matriz de variância e covariância, evitando que os choques sobre determinada variável contaminem todo o sistema, e impedindo que se analise somente o efeito individual do choque em relação a variável de interesse (LIEN; LUO, 1994).

Em relação ao cálculo da efetividade de *hedge*, exceto no modelo estimado por Mínimos Quadrados Ordinários, a efetividade do *hedge* é calculada pela razão entre a posição da carteira não protegida, calculada pela variância dos retornos da série à vista, menos a da carteira protegida, que aplica a razão ótima de *hedge* encontrada, junto com a variância das séries à vista e futuro e a covariância entre estas séries, dividida pela variância da posição não protegida, conforme a Equação 9:

$$e = \frac{\sigma_u^2 - \sigma_h^2}{\sigma_u^2} \quad (9)$$

Com isso, será analisado o quanto em porcentagem a variância foi mitigada com a aplicação da estratégia de *hedge*. De acordo com Hull (2011), as variâncias das carteiras não protegidas (σ_u^2) e protegidas (σ_h^2) podem ser representadas respectivamente por:

$$\sigma_u^2 = \sigma_s^2 \quad (10)$$

$$\sigma_h^2 = \sigma_s^2 + h^2 \sigma_f^2 - 2h\sigma_{s,f} \quad (11)$$

Em que: σ_s^2 é a variância dos retornos *spot*, σ_f^2 é a variância dos retornos *spot* e $\sigma_{s,f}$ é a covariância entre os retornos *spot* e futuro.

Nos modelos estáticos, as variâncias e covariâncias das variáveis ainda eram tratadas como constantes. Neste aspecto, a partir da concepção do modelo de heterocedasticidade condicional autorregressiva de Engle (1982), o modelo ARCH, que a estratégia de cobertura ótima começou a ser observada perante um novo ponto de vista (OLIVEIRA NETO; GARCIA; MACHADO, 2012).

3.2.2 Modelos Dinâmicos

A dinâmica dos preços agropecuários e das séries financeiras fazem com que suas cotações oscilem consideravelmente, de um período para o outro, o que induz a uma heterogeneidade na variância do erro de previsão e a possível existência de autocorrelação destes erros de previsão. Neste aspecto, os erros de uma determinada série dependeriam dos desvios da regressão. Com isso, seria mais realista e desejável a existência de uma razão ótima de *hedge* dinâmica, uma vez que as perdas no mercado podem ser muitas quando a tomada de decisão é feita com base em modelos não adequados (SOUZA et al., 2011).

Neste aspecto, o modelo ARCH, proposto por Engle (1982) e o modelo GARCH, desenvolvido por Bollerslev (1986), são os dois métodos empíricos mais utilizados para modelar a volatilidade na literatura financeira. Em linhas gerais, o modelo baseia-se na estimação da variância condicional da série, em vez de considerar esta variância constante ao longo do tempo, fato este presente nos modelos estáticos.

Com isso, a variância do termo estocástico está correlacionada com a variável explicativa e, com isso, a variância, dita condicional, depende da observação do próprio erro (BUENO, 2011). Em um modelo ARCH (1), por exemplo, a variância do erro ε_t dependerá de uma constante, mais o termo ε_{t-1}^2 (SOUZA et al., 2011). Neste contexto, o modelo ARCH é denotado por:

$$\sigma_t = \alpha_0 + \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 \quad (12)$$

Em que σ_t é a volatilidade condicional, α_0 é a constante, α_i , o coeficiente de reação da volatilidade no período i e $\alpha_p \varepsilon_{t-p}^2$ os efeitos em p períodos anteriores, no qual ε_t é ruído branco.

Com uma extensão dos modelos ARCH, Bollerslev (1986) buscou suprir a lacuna nos modelos econométricos em séries temporais, que na época, além de enfatizar apenas o primeiro

momento condicional, apresentava alguns fatores limitadores como tratar retornos positivos e negativos de forma semelhante, uma vez que o modelo aplica os quadrados dos retornos. Além disso, uma vez que séries financeiras tendem a não ter uma distribuição normal padrão, os modelos GARCH teriam a capacidade de modelar este fato estilizado, além de ser uma alternativa mais parcimoniosa, com um menor número de parâmetros e mais abrangente, por contemplar a variância condicional dos estimadores (OLIVEIRA NETO; GARCIA; MACHADO, 2012).

Para a estimação dos modelos GARCH utiliza-se geralmente o método de máxima verossimilhança, partindo do pressuposto de uma distribuição normal, ou na presença de leptocurtose, uma distribuição *t-student* ou distribuição erro generalizado. No entanto, mesmo na falta de normalidade, pode-se utilizar a distribuição normal, como uma estimação de quase-máxima-verossimilhança (BUENO, 2011).

Um modelo GARCH (p, q) pode ser definido por:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^q \beta_i \sigma_{t-i}^2 \quad (13)$$

Em que: σ_t é a volatilidade condicional, α_0 a constante, α_i o coeficiente de reação da volatilidade, β_j o coeficiente de persistência da volatilidade (o efeito GARCH), σ_{t-i}^2 a variância condicional no período i e ε_{t-i}^2 os efeitos de em i períodos anteriores.

Em sua forma mais simples, por exemplo, um GARCH (1,1) teria a seguinte forma funcional:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (14)$$

Com isso, a função de variância condicional inclui as variâncias passadas ($\beta_j \sigma_{t-j}^2$), isto é, dos quadrados dos erros anteriores e também de sua própria variância. Neste contexto, o estudo das volatilidades em um contexto multivariado possui importantes aplicações financeiras no gerenciamento de risco, incorporando taxas dinâmicas de *hedge* como um instrumento refletiria as oscilações inerentes às *commodities*, comparado aos modelos dos quais a variância e covariância são constantes.

Neste aspecto, outras extensões ou especificações dos modelos GARCH foram desenvolvidos com a finalidade de permitir uma utilização mínima de parâmetros, e com a

imposição de restrições que assegurem uma definição positiva para quaisquer valores destes parâmetros (OLIVEIRA NETO; GARCIA, 2014). Com isso, outros modelos multivariados foram desenvolvidos e aplicados à temática de *hedging*, como os modelos GARCH com especificação BEKK, desenvolvidos por Baba-Engle-Kraft-Kroner (1990) e Engle e Kroner (1995).

3.3 Estudos sobre Razão Ótima e Efetividade de *Hedge* à luz de uma revisão

Este tópico possui a finalidade de tratar a questão da estratégia de cobertura de risco em mercados futuros com o uso dos principais métodos de estimação aplicados na pesquisa sobre gerenciamento de risco de preços de *commodities* em mercados futuros, buscando analisar a efetividade de *hedging* em diferentes horizontes de planejamento e de tempo.

Raabe, Staduto e Shikida (2006) tiveram como finalidade analisar a efetividade de *hedge*, baseando-se nos dados do açúcar cotado em dólar na BM&F, na Bolsa de Londres, e na Bolsa de Nova Iorque, medidos pelo índice CEPEA/ESALQ, no período entre janeiro de 2000 a setembro de 2003. Os resultados da pesquisa destacaram que os preços do mercado físico, medidos pelo índice CEPEA/ESALQ, tornando-se, desta forma, uma base relativamente segura para que os produtores pudessem prever o preço futuro desta *commodity*.

Entretanto, os valores obtidos, a partir da aplicação do modelo de Myers e Thompson, indicaram que as proporções das posições à vista a serem compensadas com estes contratos, a fim de minimizar o risco das posições à vista e futuras, foram de 2,94%, 5,34% e 52,15% para as bolsas de Londres, Nova Iorque e BM&F, respectivamente, com a ressalva de que as duas primeiras bolsas não tiveram nenhuma razão ótima de *hedge*, uma vez que os valores obtidos foram praticamente iguais a zero.

Segundo os autores, um fator importante que poderia explicar tal diferença, estaria relacionada a especificidade dos tipos de açúcar comercializados nas respectivas bolsas que tiveram um baixo índice de efetividade de *hedge*, isto é, considerando o fato de que, a BM&F comercializa açúcar cristal especial, enquanto a Bolsa de Londres (LIFFE) pratica com o açúcar de cana ou de beterraba refinado, enquanto a Bolsa de Nova Iorque (ICE) comercializa açúcar de cana demerara. Além disso, deve-se relevar ainda os meses de vencimentos dos contratos, que também possuem uma pequena disparidade.

Oliveira Neto e Figueiredo (2008) buscou analisar as operações de *hedge* do boi gordo no mercado futuro da BM&F para o Estado de Goiás, a partir da série temporal de preços da arroba do boi gordo para o Estado de Goiás, junto à Federação da Agricultura e Pecuária do

Estado de Goiás e a série temporal de preços da arroba do boi gordo no mercado futuro da BM&F, junto ao Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, entre os meses de janeiro de 1997 e outubro de 2007.

Ressaltou-se, a partir do estudo, que o risco de base foi maior entre os meses considerados de safra (dezembro a maio), com destaque para os meses de dezembro e janeiro (início do período da safra), quando ocorreu um fortalecimento da base, o que, de acordo com os autores, foi bom para quem estava vendido, e ruim para quem estava comprado. Por outro lado, o risco de base foi menor entre os meses de entressafra (junho a novembro), onde observou-se que a base permaneceu constante e relativamente fraca, o que, neste aspecto, foi bom para quem estava comprado, e ruim para quem estava vendido.

Considerando-se os resultados obtidos, o cálculo da razão de *hedge* ótima e efetividade de *hedge* a partir do modelo de Myers e Thompson, permitiram observar que houve semelhança no comportamento de base. Com isso, os autores destacaram que a razão de *hedge* ótima apresentou resultados significativos para a tomada de decisão nas operações de *hedge*, com uma diferença entre os períodos de safra e entressafra, no mercado futuro da BM&F, devido a uma diminuição de aproximadamente 90% do risco referente às oscilações de preços no mercado físico.

O trabalho de Silveira e Cruz Junior (2010) buscou aplicar o modelo de mínima variância de Ederington (1979), com intercepto e com os preços das primeiras diferenças, com a finalidade de calcular a razão de *hedge* ótima e a respectiva efetividade no mercado futuro de café da BM&FBovespa em seis diferentes regiões produtoras de café (Patrocínio (MG), Varginha (MG), Paraíso (MG), Caratinga (MG), Londrina (PR) e Piraju (SP)) no período entre outubro de 2001 a dezembro de 2009. Os preços futuros foram obtidos no Sistema de Recuperação de Informações da BM&FBovespa em seu primeiro vencimento em U\$\$/saca, e foram convertidas para reais, utilizando a média da PTAX8000, do BACEN, em periodicidade mensal, assim como as séries de preço à vista.

Os resultados deste trabalho destacaram valores de razão ótima de *hedge* similares entre os três modelos (69,81%, 68,80% e 73,02%, respectivamente), enquanto as médias das efetividades de *hedge* de 77,68%, 77,59% e 77,54, respectivamente, com destaque para as cidades de Londrina e de Patrocínio, corroborando estudos anteriores relacionados à *commodity* que tinham na sua amostra, cotações anteriores ao período analisado neste trabalho.

Souza, Martines-Filho e Marques (2011) objetivaram responder em que grau o *hedge* simultâneo de risco de preços e cambial, utilizando os contratos futuros da BM&F, poderiam melhorar o resultado final do *hedge*, em termos de redução da variância da receita total, para os

produtores de soja de Mato Grosso, comparando-os ao *hedge* único de risco de preços. Para isto, os autores utilizaram os dados diários à vista em Rondonópolis, no Mato Grosso, cotados no CEPEA-ESALQ, os preços dos contratos futuros de soja e de dólar americano da BM&FBovespa e a taxa de câmbio à vista, cotação de venda PTAX, do Banco Central, em R\$/US\$, no período entre março de 2004 e maio de 2009, a partir de simulações de Monte Carlo.

Os autores destacaram, a partir dos resultados, que as estratégias de *hedge* simultâneo dominariam as demais, devido ao menor valor de variância da receita total, com a ressalva de que, possíveis custos de transação na região de Rondonópolis poderiam distorcer estes resultados. Em complemento, os autores inferiram que exportadores de *commodities* agrícolas que são sujeitos à exposição de risco de taxa de câmbio deveriam considerar o *hedge* simultâneo, agregando-o à sua gestão estratégica.

O estudo de Souza, Cunha e Wander (2011) fez um levantamento dos preços da *commodity* junto a Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) e os preços no mercado *spot* coletados junto a Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Goiás (FAEG) no período entre janeiro de 2002 a dezembro de 2009, com a finalidade de estimar a razão ótima de *hedge* e a sua efetividade para o mercado de boi gordo em Goiás.

De acordo com os resultados apresentados, o modelo que obteve os menores valores dentre os critérios de informação, foi o modelo em primeira diferença com termos defasados da série de preços do mercado futuro da BM&F, com uma razão ótima de *hedge* no valor de 0,69. Em complemento, o resultado obtido por meio da efetividade da operação de *hedge* revelou, a partir desta razão de *hedge*, uma diminuição de aproximados 80% do risco referente às operações de preços no mercado físico, destacando a importância das operações de *hedge* no mercado futuro da BM&F para o estado de Goiás.

Dada a expressiva participação cruzada entre as indústrias de frango e de milho no Brasil, o trabalho de Souza et al. (2011) buscou indagar se o risco de preço do frango poderia ser neutralizado a partir dos contratos futuros domésticos de milho, analisando-se a eficiência na utilização dos contratos futuros de milho negociados na BM&FBovespa em operações de *cross-hedge* do risco do preço de frangos. Para isso, os autores consideraram duas metodologias para o cálculo da razão ótima de *hedge*. O primeiro método considerado foi o da regressão linear simples, baseado na hipótese de que a matriz de covariâncias é constante, e o modelo GARCH-BEKK, considerando a dependência temporal da matriz.

Os resultados, a partir dos modelos analisados, observaram a baixa efetividade do *cross-hedge* nas abordagens analisadas, com uma razão de *hedge* cruzada de 0,3%, com efetividade

de 0,1%, para o modelo de MQO, e um *hedge* dinâmico com efetividade de aproximados 2%. Os autores atribuíram a baixa efetividade do *cross-hedge* devido às estruturas microeconômicas distintas, como a sazonalidade das vendas, a formação de estoques, a distribuição do ano-safra e às condições de abate do plantel de aves.

Freitas (2011) comparou a efetividade entre diferentes estratégias de hedge ao mercado futuro de açúcar, comparando-as à uma posição totalmente desprotegida do mercado spot, utilizando os retornos das cotações do açúcar cristal disponibilizadas pelo CEPEA/ESALQ/USP para o estado de São Paulo, junto aos retornos de ajuste diário na bolsa de Nova Iorque (ICE Futures) entre fevereiro de 2002 a outubro de 2010, com periodicidade diária.

Os resultados destacaram que a razão ótima estimada pelo modelo GARCH-BEKK oscilou entre um mínimo de 0,00% a um valor máximo de 36,82%, um valor ainda pequeno para a proteção dos hedgers. Além disso, a variabilidade entre esta razão ótima denota que em determinados momentos, não seria interessante manter a posição no futuro do açúcar para proteger-se no mercado spot, ainda que, de acordo com o autor, os mercados fossem 95% correlacionados – em média, a efetividade durante este período foi próxima aos 7%.

O trabalho de Oliveira Neto, Garcia e Machado (2012) teve como objetivo verificar a efetividade de *hedging* para o boi gordo mineiro de paulista no mercado futuro da BM&FBovespa por diferentes estratégias de cobertura, com séries de preços que compreenderam o período entre janeiro de 2002 e maio de 2011. A efetividade de *hedging* estimada pelo uso do *hedge* completo foi comparada a conseguida pelo *hedge* ótimo estimado pelos métodos baseados nos mínimos quadrados ordinários, modelos heterocedásticos e método de cointegração.

Os resultados da pesquisa destacaram que, quando logaritmizadas, os preços do boi gordo no mercado futuro da BM&FBovespa e no mercado a vista do boi gordo mineiro e paulista é bastante similar, porém, a diferença entre os preços futuros e preços à vista para o mercado paulista é praticamente nula na maior parte do tempo. Porém, por outro lado, os preços à vista do boi gordo do Triângulo Mineiro são em média 2% inferiores aos preços futuros do boi gordo na BM&FBovespa, na respectiva data de vencimento dos contratos.

Em contexto geral, a estratégia de cobertura completa, ou seja, a que utilizou o Modelo por Mínimos Quadrados Ordinários, foi o que apresentou o maior equilíbrio em efetividade de *hedging*, e que, as efetividades de *hedging* pela aplicação dos modelos baseados nos mínimos quadrados ordinários foram superiores às alcançadas pelo uso dos modelos de correção de erro de cointegração (VEC) e heterocedásticos.

Monteiro et al. (2013) buscaram investigar a efetividade do hedge do mercado de boi gordo, partindo do pressuposto que o Brasil é o maior exportador mundial de carne bovina, além de ser a commodity com maior negociabilidade da BM&FBovespa. Neste contexto, os autores consideraram seis praças: Araçatuba (SP), Campo Grande, Três Lagoas (MS), Cuiabá (MT), Goiânia (GO) e a região do noroeste do Paraná, junto as cotações em primeiro vencimento do contrato futuro de boi gordo negociado na BM&FBovespa entre janeiro de 2002 e junho de 2008.

Na metodologia, os autores aplicaram o teste de co-integração de Johansen e Juselius (1990), que mostrou uma relação de longo prazo entre as variáveis estudadas (as séries foram co-integradas), o que necessitou de um termo de correção de erro. Logo após, o cálculo da razão ótima e da efetividade do hedge a partir do modelo GARCH-BEKK mostrou que em todas as praças analisadas, os resultados foram estatisticamente significativos. No entanto, estes resultados foram em toda a amostra, próxima a zero (a maior efetividade foi na região de Campo Grande: aproximados 4%), mostrando que a operação de hedge, mesmo considerando contratos com alta liquidez, como é o caso do contrato futuro do boi gordo, não seria eficiente para mitigar de um agente que buscaria a mitigação de seu risco através desta operação.

Guerra, Dörr e Freitas (2013) averiguaram se, de fato, a realização de operações de *hedge* no mercado futuro da BM&F proporcionaram resultados efetivos acerca da utilização dos preços da arroba do boi gordo, tanto para a respectiva praça, como para os contratos negociados no mercado da BM&F, a partir da aplicação do modelo de Myers e Thompson, utilizando o preço médio do boi gordo na BM&FBovespa e os disponíveis na AgroLink, referentes ao estado do Rio Grande do Sul.

Os resultados destacaram que, uma variação de R\$1,00 no preço à vista, gera uma variação de R\$0,78 no preço futuro do boi gordo no longo prazo. Além disso, as evidências destacaram que para mitigar os riscos, seriam necessários 5,61% do total de recursos do *hedger* para a proteção por operações de *hedge*. Em relação a efetividade de *hedge*, os cálculos destacaram que 12% dos riscos de preço poderiam ser mitigados através das operações no mercado futuro da BM&F, a partir da respectiva razão de *hedge*, o que denotou uma baixa efetividade entre as *commodities*.

O trabalho de Nogueira (2013) investigou a eficiência e razão ótima de hedge para os mercados futuros de boi, café, etanol, milho e soja negociados na BM&FBovespa, aplicando o GARCH-BEKK (1,1) junto às cotações à vista disponibilizada pelo ESALQ/CEPEA/USP com dados diários no período de maio de 2010 a junho de 2013 para o boi, café, etanol e milho e até agosto de 2012 para a *commodity* soja.

Em todas as commodities estudadas, as estimações realizadas pelo GARCH-BEKK apresentaram uma efetividade de hedge maior que para as estimações realizadas pelo modelo de mínima variância de Ederington (1979). No caso do Etanol, os resultados por Mínimos Quadrados Ordinários chegaram aos 16%, enquanto pela estimação pelo GARCH-BEKK, 28%, denotando que, mesmo com a superioridade do modelo dinâmico, a commodity não foi eficaz para mitigar os riscos de preços através do *own hedging*.

Harzer et al. (2014) teve o objetivo de estimar os coeficientes da razão ótima de *hedge* e de efetividade dos indicadores do café arábica à vista, calculados pelo CEPEA/ESALQ, e dos preços do café arábica no mercado futuro obtido na BM&FBovespa, e posteriormente cambiados pela taxa PTAX da BACEN, no período de janeiro de 2005 a maio de 2011, a partir do modelo de variância mínima de Ederington. Cabe ressaltar que, neste trabalho, com a finalidade de analisar as variações da razão ótima de *hedge* ao longo do tempo, os valores foram calculados anualmente para cada mês de vencimento dos contratos futuros.

Os resultados destacaram uma maior eficiência para os contratos com vencimento em julho de 2011, com 97,95% de proteção e o mínimo foi de 42,30%, para os contratos com vencimento em dezembro de 2006, e o menor, em dezembro de 2006, como o período em que apresentou o menor risco de base. Já a média geral excluindo os contratos futuros com vencimento em 2012 foi de 80%. Os contratos de 2012 foram excluídos, considerando que foram negociados apenas 1.395 contratos futuros com vencimento neste ano, número muito baixo se comparado com os vencimentos até dezembro de 2011, de acordo com os autores.

Oliveira Neto (2014) analisou a proteção cruzada entre os preços dos novilhos de corte no mercado à vista argentino e uruguaio junto aos contratos futuros de boi gordo negociados na BM&FBovespa, a partir de modelos estáticos e dinâmicos dentro e fora da amostra (janeiro de 2002 a maio de 2012 e junho de 2012 a junho de 2013, respectivamente). De acordo com o autor, a utilização do teste fora da amostra concerne em avaliar a efetividade do cross hedging pela utilização das razões ótimas dos modelos de estimação.

Dentre os modelos utilizados, as estimações com o GARCH-BEKK não atingiram os melhores resultados dentro da amostra – a maior efetividade foi encontrada no modelo de mínima variância, no caso do novilho uruguaio, e pelo modelo *full hedge*, para os preços do novilho americano. No entanto, quando estimados fora da amostra, a efetividade pelo GARCH-BEKK alcançou os 90%, no caso dos novilhos argentinos e aproximados 91% no caso dos novilhos uruguaio. Com isso, a alta negociabilidade do contrato futuro de boi gordo o tornaria um instrumento eficaz para a mitigação do risco aos hedgers, tanto para o mercado brasileiro,

quanto para commodities negociadas em outros mercados, como a Chicago Board of Trade, por exemplo.

O trabalho de Tonin, Parré e Tonin (2014) buscou avaliar a efetividade e a razão ótima de *hedge* dos contratos futuros negociados de etanol anidro no período entre janeiro de 2007 a junho de 2013, utilizando os dados semanais à vista do etanol anidro de Iowa, informados pela USDA, os preços semanais no primeiro vencimento dos contratos futuros de etanol anidro norte-americano, do contrato futuro de açúcar nº 11 negociados na *ICE Futures* e do contrato de milho, cotado na Bolsa de Chicago, CBOT, convertidas pela taxa de câmbio PTAX do Banco Central do Brasil e posteriormente, logaritmizados.

Os autores destacaram que a opção pelo contrato futuro de etanol negociado na CBOT se deu, devido à liquidez do contrato, e a indisponibilidade na utilização dos contratos futuros de etanol anidro da BM&FBovespa, que começou a ser negociado a partir do dia 28 de janeiro de 2013, e ainda está em fase de consolidação e aceitação pelos agentes de mercado. Logo após, foi aplicado o modelo com vetor de correção de erro, o VEC, para calcular a razão ótima e a efetividade a partir da matriz de variância e covariância.

Os resultados destacaram que, para o mercado de etanol anidro brasileiro, a efetividade de *hedge* ficou em aproximados 16%, e a de *cross-hedge* em 10%, mostrando a baixa eficiência desta ferramenta. Em relação à razão ótima, a relação ficou em aproximados 31% para o *own hedge*, e 30% para o *cross hedge*. Com isso, a partir dos dados analisados, percebeu-se que a efetividade no mercado norte-americano foi superior ao encontrado no mercado brasileiro.

As possíveis justificativas, segundo os autores, podem ser justificadas pelo fato de que o etanol anidro é produzido nos dois países com intuito ambiental, buscando substituir o consumo de combustíveis fósseis, além da elevação das tarifas de importação e subsídios aos produtos nacionais, fazendo com que os preços do etanol nos Estados Unidos destoem dos preços que são negociados no mercado internacional, e tornando o processo de transmissão dos preços mais lento.

Santiago e Mattos (2014) buscaram avaliar se as operações de *cross hedge* com os contratos futuros de etanol hidratado brasileiro e do etanol anidro americano seriam uma ferramenta eficiente contra as oscilações nos preços do açúcar cristal, partindo-se da inexistência de um contrato futuro para os produtores de açúcar cristal no período de 2010 a 2012. Para alcançar esta finalidade, os autores calcularam a razão ótima e a efetividade do *cross hedge* a partir das variâncias e covariâncias obtidas com a estimação do modelo VAR.

Os dados do etanol hidratado são referentes ao do contrato futuro da *commodity* na BM&FBovespa, considerando o seu primeiro vencimento, os dados do etanol anidro

americano, coletados na Bolsa de Chicago Mercantile Exchange, no *CME Group* e os dados no mercado *spot* de açúcar cristal, coletados no CEPEA/ESALQ, a partir de 17/05/2010, em periodicidade semanal.

Os resultados destacaram que o agente que comercializou açúcar cristal teria que negociar cerca de 19,52% de sua posição do mercado físico no mercado futuro americano, comprando ou vendendo os contratos de etanol anidro, para buscar minimizar 4,2% da variância da receita, o que denotaria uma operação com baixa efetividade. Em relação ao etanol hidratado brasileiro, o agente teria que comercializar aproximados 2% de sua posição no mercado físico no mercado futuro brasileiro para mitigar a variância de sua receita para não ter uma efetividade neste *cross hedge*, uma vez que a efetividade foi negativa (-0,2%). Logo, ao realizar esta análise, os autores destacaram que não seria viável o agente realizar operações em futuros utilizando o açúcar cristal, uma vez que esta *commodity* não se mostrou eficiente na cobertura do risco, e minimizar a variância da receita do *hedger*.

O trabalho de Amorim Neto (2015) buscou analisar, dentre outros objetivos, a efetividade do uso do contrato futuro do boi gordo para a mitigação do risco desta *commodity* a partir da aplicação dos modelos de variância mínima, de correção de erros e do modelo GARCH-BEKK. Através dos fechamentos diários do contrato futuro do boi gordo nos respectivos primeiros vencimentos e das cotações à vista nas praças de Araçatuba (SP) e Goiânia (GO) no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2013 com periodicidade quinzenal.

Em relação aos resultados, os autores destacaram que, entre as estratégias calculadas, a que permitiu uma maior efetividade de hedge foi a do modelo de variância mínima, para ambas as praças (Araçatuba: 36,96%; Goiânia: 19,92%). A estimação pelo modelo GARCH-BEKK acabou oferecendo uma menor efetividade na minimização da variância (Araçatuba: 29,82%; Goiânia: 19,21%). Em geral, as estratégias de hedge analisadas mostraram uma baixa efetividade para o período, as praças e a *commodity* analisada.

Por fim, espera-se que pesquisas futuras possam ser comparadas com as pesquisas anteriores e com a análise dos resultados apresentados, a fim de confrontar as particularidades que foram expostas neste estudo. De forma geral, as pesquisas anteriores destacaram que, quando nas operações de *own hedge*, isto é, nas operações em que o ativo no mercado *spot* possui as mesmas características do ativo subjacente no mercado futuro, os resultados na razão ótima de *hedge* e da respectiva efetividade foram superiores do que nas operações de *cross hedge*.

4 METODOLOGIA

4.1 Períodos e Dados da Pesquisa

O período inicial das séries desta pesquisa remonta à promulgação da Medida Provisória nº 609, de 2013. Esta MP reduziu, dentre outros impostos, as alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP incidentes sobre a importação de produtos que compõem a cesta básica, e dentre estes o açúcar. Anteriormente, estes impostos eram considerados nas cotações, e a partir da incidência zero, ocorreu uma alteração nos valores, influenciando em uma quebra estrutural, caso considerado o período relacionado às negociações dos contratos futuros de etanol hidratado na BM&FBovespa, 17 de maio de 2010¹².

Desde 8 de maio de 2013, os indicadores disponibilizados pelo CEPEA/ESALQ não consideram a incidência de PIS/COFINS nas cotações do açúcar e do etanol à vista. No entanto, devido à repetição na série dos indicadores anteriores durante a semana de implantação da Medida supracitada, os dados desta pesquisa iniciariam de 13 de março de 2013 até o dia 10 de outubro de 2016.

Entretanto, ao analisar os dados durante este período, em um total de 753 observações, observou-se uma quebra estrutural significativa, e que, após uma análise exploratória dos dados, poderia distorcer uma análise geral sobre os futuros resultados buscados neste trabalho. Esta segunda quebra estrutural identificada está relacionada a maior alta do preço da gasolina, desde, naquele período, o início de abril de 2010.

De acordo com as informações de mercado disponibilizadas pelo CEPEA/ESALQ, referentes ao mês de setembro de 2015, a rápida vigência do reajuste de 6% da gasolina nas refinarias do país se somaram à interrupção momentânea da colheita e produção de etanol devido às precipitações no período. Neste contexto, o volume de negócios do etanol hidratado captado no mercado à vista foi o quarto maior já registrado pelo CEPEA em uma semana desde 2002 (CEPEA, 2015).

Com isso, resolveu-se trabalhar com dois períodos, este segundo, datado a partir de 25 de setembro de 2015 até 10 de outubro de 2016, em um total de 193 observações, a fim de estimar a razão ótima e a efetividade de *hedge* a partir dos fatos supracitados. Somadas às

¹² Em 17 de maio de 2010, a BM&FBovespa retoma a negociação do contrato futuro do etanol, neste caso o hidratado, substituindo o contrato, que antes possuía a entrega física da *commodity*, pela respectiva liquidação financeira, através do ofício circular 018/2010-DP (BM&FBOVESPA, 2010), mais uma vez como uma alternativa de mitigar os riscos dos agentes e buscando ampliar a utilização de mecanismos de gestão de risco, como o *hedge* (TONIN; TONIN; PAVAN, 2012)

observações do Período 1, a amostra total desta pesquisa totaliza 753 observações para cada variável analisada, no período de 13 de março de 2013 a 10 de outubro de 2016.

Os dados desta pesquisa foram obtidos por meio do Sistema de Recuperação de Informações da BM&FBovespa, do Sistema Gerenciador de Séries Temporais do Banco Central do Brasil (módulo público), dos dados disponibilizados pela *ICE Futures U.S.* e das séries de preços disponibilizadas pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA/ESALQ-USP.

Em relação as cotações à vista das variáveis analisadas, a série do etanol hidratado seja a disponibilizada pelo CEPEA/ESALQ-USP, base Paulínia (SP), que é a utilizada como referência para os preços nacionais. Estas cotações são em reais por metro cúbico, e está relacionada aos preços por volumes direcionados às bases de armazenamento e distribuição de Paulínia e os referentes aos negócios cujos volumes são enviados às bases de regiões de “influência de Paulínia” (CEPEA, 2016).

Em relação aos preços dos contratos futuros, este trabalho utilizou as cotações do contrato futuro do açúcar negociado na *ICE Futures U.S.*, conhecido como Açúcar n. 11. No que tange à especificação do contrato, o tamanho do contrato do açúcar americano é de 112.000 libras-peso, com o último dia de negociação no último dia útil do mês anterior ao vencimento deste contrato¹³, que possui quatro meses de vencimento: março, maio, julho e outubro (ICE FUTURES, 2016). Para o tratamento destes preços futuros, este trabalho considerou o primeiro vencimento da respectiva cotação, que é o mais comumente utilizado pela literatura, em periodicidade diária.

Os dados diários são mais preferíveis que os dados de baixa frequência (semanais, quinzenais ou mensais) uma vez que podem capturar melhor as reações imediatas dos mercados financeiros às novas informações (CHINZARA; AZIAKPONO, 2009). Entretanto, as análises dos preços diários também podem apresentar problemas relacionados aos dias não comercializáveis ou feriados. Com isso, a eliminação destes dias da base de dados foi realizada, quando determinada data teve o seu correspondente no mercado futuro e vice-versa, e por fim, quando as quatro variáveis foram consolidadas em painel.

Em relação a conversão das cotações do *Sugar n. 11* da *ICE Futures U.S.*, os valores, originalmente expressos em centavos de dólar por libra-peso, foram convertidos em dólares por quilograma e, em seguida, em reais por quilograma, pela taxa de câmbio corrente (R\$/US\$). Sobre o correspondente do câmbio para a conversão dos preços do açúcar negociado na *ICE*

¹³ Tomando-se março como vencimento, por exemplo, o último dia de negociação para este contrato seria o último dia útil do mês de fevereiro.

Futures U.S., uma vez que se vê necessário a padronização da moeda para a operacionalização da pesquisa, a proposta é que a taxa utilizada seja a disponibilizada pelo Sistema Gerenciador de Séries Temporais do Banco Central do Brasil (BCB), especificamente, a taxa de câmbio - Livre - Dólar americano (Venda) – diário, com metodologia PTAX.

Consoante a metodologia do BCB, o cálculo da taxa PTAX é realizado através de quatro consultas diárias aos *dealers* de câmbio, e que após esta consulta é realizada uma média das respectivas cotações, excluindo-se os dois maiores valores e as duas menores, e logo após, uma média aritmética simples destas quatro consultas, divulgada por volta das 13:00 (KAIRALLA, 2015). Por fim, para a diferenciação ou transformação dos preços em logaritmo na análise dos resultados, ocorreu a adição das letras “D” e “L” antes do nome da respectiva série para que as interpretações dos *outputs* gerados pelo *software* possuam um melhor esclarecimento.

4.2 Estratégia Empírica: Modelo GARCH-BEKK

A análise proposta neste trabalho foi baseada no modelo GARCH multivariado, em sua especificação BEKK (BABA *et al.*, 1990), denotado por (p, d, q) , que permitirá a captação das inter-relações dinâmicas a partir da sua matriz de variância e covariância. Em complemento, propõe-se um modelo GARCH (1,1) bivariado diagonal proposto por Engle e Kroner (1995), com a finalidade de estudar a transmissão da volatilidade entre os dois mercados simultaneamente e garantindo que todos os elementos da diagonal principal sejam positivos e simétricos em relação a esta diagonal. Com isso, não seriam necessárias fortes imposições aos parâmetros, e ao mesmo tempo, existindo a garantia desta matriz definida positiva (FERREIRA, 2012).

O modelo BEKK pode, em termos algébricos, ser representado conforme a Equação 15.

$$\sigma_t^2 = C'C + \sum_{i=1}^p A'_i \varepsilon_{t-i} \varepsilon'_{t-i} A_i + \sum_{j=1}^q B'_j \sigma_{t-j}^2 B_j \quad (15)$$

Em que: σ_t^2 é a matriz de variância e covariância dos retornos do etanol hidratado à vista e do açúcar futuro no tempo t , A_i e B_j são matrizes dos coeficientes dos termos ARCH e GARCH, respectivamente e C é uma matriz triangular inferior; p e q são as ordens do modelo ARCH e GARCH, respectivamente e n , o número das series utilizadas (no caso, $n = 2$) e ε_t o vetor dos termos de erro.

De forma matricial, os elementos individuais da Equação 15 podem ser representados conforme abaixo:

$$\sigma_t^2 = \begin{bmatrix} \sigma_{11,t}^2 & \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{21,t}^2 & \sigma_{22,t}^2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & 0 \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Em linhas gerais, os elementos da matriz A representam a volatilidade a curto prazo (efeito ARCH) e os elementos da matriz B denotam a volatilidade a longo prazo da mesma forma (efeito GARCH). Em termos matriciais, a Equação 15 pode ser escrita como:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \sigma_{11,t}^2 & \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{21,t}^2 & \sigma_{22,t}^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} c_{11} & 0 \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} c_{11} & 0 \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{2,t-1}\varepsilon_{1,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} \sigma_{11,t-1}^2 & \sigma_{12,t-1}^2 \\ \sigma_{21,t-1}^2 & \sigma_{22,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (20)$$

Expandindo a Equação (22) pela multiplicação de matrizes:

$$\sigma_{11,t}^2 = c_{11}^2 + a_{11}^2 \varepsilon_{1,t-1}^2 + 2a_{11}a_{21}\varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} + a_{21}^2 \varepsilon_{2,t-1}^2 + b_{11}^2 \sigma_{11,t-1}^2 + 2b_{11}b_{21}\sigma_{12,t-1}^2 + b_{21}^2 \sigma_{22,t-1}^2 \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{12,t}^2 = \sigma_{21,t}^2 &= c_{11}c_{21} + a_{11}a_{12}\varepsilon_{1,t-1}^2 + (a_{21}a_{12} + a_{11}a_{22})\varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ &+ a_{21}a_{22}\varepsilon_{2,t-1}^2 + b_{11}b_{12}\sigma_{11,t-1}^2 + (b_{21}b_{12} + b_{11}b_{22})\sigma_{12,t-1}^2 \\ &+ b_{21}b_{22}\sigma_{22,t-1}^2 \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{22,t}^2 &= c_{21}^2 + c_{22}^2 + a_{12}^2 \varepsilon_{1,t-1}^2 + 2a_{12}a_{22}\varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} + a_{22}^2 \varepsilon_{2,t-1}^2 + b_{12}^2 \sigma_{11,t-1}^2 \\ &+ 2b_{12}b_{22}\sigma_{12,t-1}^2 + b_{22}^2 \sigma_{22,t-1}^2 \end{aligned} \quad (23)$$

Com isso, a variância condicional individual de cada variável, estimadas pelos $\sigma_{11,t}^2$ e $\sigma_{22,t}^2$ afetam a variância da outra variável, assim como também a sua covariância ($\sigma_{12,t}^2$ e $\sigma_{21,t}^2$). Além disso, os coeficientes ARCH do modelo, estimados pelo erro quadrático em $t-1$ (a_{12}) e

GARCH (a variância condicional em $t-1$, ou b_{12}) refletem a influência dos retornos do contrato futuro de açúcar negociado na *ICE Futures U.S.* sobre o etanol hidratado negociado no mercado à vista, por exemplo, enquanto a recíproca é estimada pelos coeficientes a_{21} e b_{21} .

Logo, na análise da transmissão da volatilidade entre os mercados, a significância individual dos coeficientes GARCH b_{12} inferem se a volatilidade na série de retornos do etanol hidratado pode ser explicada pela variação nas cotações do açúcar negociado no mercado futuro, sem influências exógenas (AMORIM NETO, 2015).

4.3 Razão Ótima e Efetividade com GARCH-BEKK

A matriz de variância e covariância originada pelo modelo GARCH-BEKK será a base para o cálculo da razão ótima e da efetividade do *cross hedge* entre as séries analisadas. Logo, espera-se que a consideração da heterocedasticidade condicional das variáveis proporcionem um instrumento fidedigno aos que se servem de tal instrumento. Neste aspecto, a razão ótima de *hedge* através do modelo GARCH-BEKK será estimada conforme a Equação 24.

$$h_t = \frac{cov(\Delta s_t, \Delta f_t | \Omega_{t-1})}{var(\Delta f_t | \Omega_{t-1})} \quad (24)$$

Em que: Δs_t e Δf_t são os log-retornos dos preços à vista e futuros, Ω_{t-1} é a matriz de variância e covariância condicional pelo modelo GARCH-BEKK e h_t é a razão de *hedge* ótima.

Em complemento, a efetividade de *hedge* é representada pela razão entre a diferença das carteiras não protegida e protegida sobre a variância da posição da carteira não protegida, assim como nas estimações pelos modelos estáticos, entretanto, considerando as variações condicionais das *commodities* analisadas neste trabalho.

$$e = \frac{\sigma_u^2 - \sigma_h^2}{\sigma_u^2} \quad (25)$$

Em que: e representa a efetividade de *hedge*, σ_u^2 é a variância da carteira não protegida e σ_h^2 é a variância da carteira protegida, calculadas através das Equações 10 e 11.

A efetividade máxima que pode ser alcançada pelo *cross hedge* na mitigação do risco é igual a um. De acordo com a Deliberação nº 604 do Comitê de Valores Mobiliários, que aprovou o Pronunciamento Técnico nº 39 do Comitê de Pronunciamentos Contábeis (CPC),

que discorre sobre o reconhecimento e a mensuração de Instrumentos Financeiros Derivativos, um *hedge* é altamente eficaz quando o resultado for igual ou superior a 0,80. Logo, multiplicando-se por cem, tem-se que uma estimação a partir de 80% é tida como altamente eficaz para mitigar, por exemplo, as oscilações inerentes no mercado à vista a partir de uma dada proporção de contratos futuros (OLIVEIRA NETO, 2014).

5 RESULTADOS

5.1 Análise Exploratória dos Dados

A primeira parte da análise dos dados está relacionada a uma abordagem exploratória, a fim de verificar o comportamento das séries temporais estudadas, e da adequação aos pressupostos econométricos. Uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo. As séries temporais podem apresentar mudanças de nível e de tendência, uma vez que não apresentam a sua média e variância constantes e sem a sua covariância dependente do intervalo do tempo, tornando-se assim, não estacionárias (ENDERS, 2010). Com isso, um processo é considerado estacionário quando possui média, variância e covariância constantes.

Inicialmente, considerado o fato de que as séries em nível não apresentaram estacionariedade¹⁴, ou seja, de que a série apresentou raiz unitária, além de altos coeficientes de coeficiente de variação, buscou-se uma suavização destas observações através da aplicação do Filtro Hodrick-Prescott, ou Filtro HP, que de acordo com Bueno (2011) é um filtro bastante conhecido e utilizado para remover o componente cíclico (tendência) das séries temporais.

Com isso, o filtro HP busca manter as flutuações de curto prazo, removendo as flutuações que possuem baixa persistência na série. Logo, valores que possam influenciar na heterocedasticidade das séries são suavizados, fazendo com que se possa observar o comportamento dos preços sem o componente cíclico. O parâmetro de suavização de acordo com a forma que a série é apresentada foi de $\lambda=14.400$, o que não altera de forma significativa a volatilidade do componente cíclico que foi estimado, conforme a metodologia adotada por Hodrick e Prescott (1997). Para utilizar o filtro HP nas séries foi utilizado o software R.

Logo após a aplicação do filtro HP, as séries de preço, tanto do etanol *spot* quanto do açúcar futuro apresentam intervalos entre o ponto mínimo e máximo significativos o suficiente para que a média e a mediana das séries apresentem valores distintos. Além disso, a volatilidade

¹⁴ Foram aplicados nesta pesquisa, os testes estatísticos Dickey-Fuller Aumentado ou ADF (DICKEY; FULLER, 1981), Phillips-Perron (PHILLIPS; PERRON, 1988) e KPSS (KWIATKOWSKI et al., 1992), convencionalmente indicados para verificar a estacionariedade em séries temporais, destacados durante esta análise. A hipótese nula do teste ADF é de que a série temporal tem uma raiz unitária, logo não estacionária. Com isso, a um nível de 5% de significância, o p-valor deve rejeitar a hipótese nula do teste ADF, aceitando a hipótese alternativa de estacionariedade da série analisada. Em complemento, o teste Phillips-Perron também é utilizado para verificar a existência de raiz unitária em séries temporais. O teste PP é semelhante ao teste ADF, mas esse teste trata da correlação serial nos termos de erro sem adicionar os termos de diferença defasados (GUJARATI, 2012). A hipótese nula do teste é que a série tem raiz unitária, logo, não estacionária, assim como no teste ADF. Por fim, o terceiro teste proposto, o KPSS, é uma alternativa aos testes ADF e PP uma vez que a sua hipótese nula é a de estacionariedade, não existindo, portanto, raiz unitária na série temporal.

do ativo subjacente negociado no mercado futuro também acompanha em proporções similares as oscilações do mercado *spot*.

Para melhor ilustrar os dados apresentados as Figuras 4 a 7 destacam o comportamento das observações diárias obtidas após o filtro HP para os preços *spot* do Etanol Hidratado base Paulínia (SP) e os preços diários do açúcar na Bolsa de Nova Iorque (*Intercontinental Exchange Futures*) e do contrato futuro do Etanol hidratado de forma gráfica, ressaltando-se a linha de tendência em vermelho, e que será a utilizada para a análise dos dados nesta pesquisa, em comparação com os valores em nível, em azul.

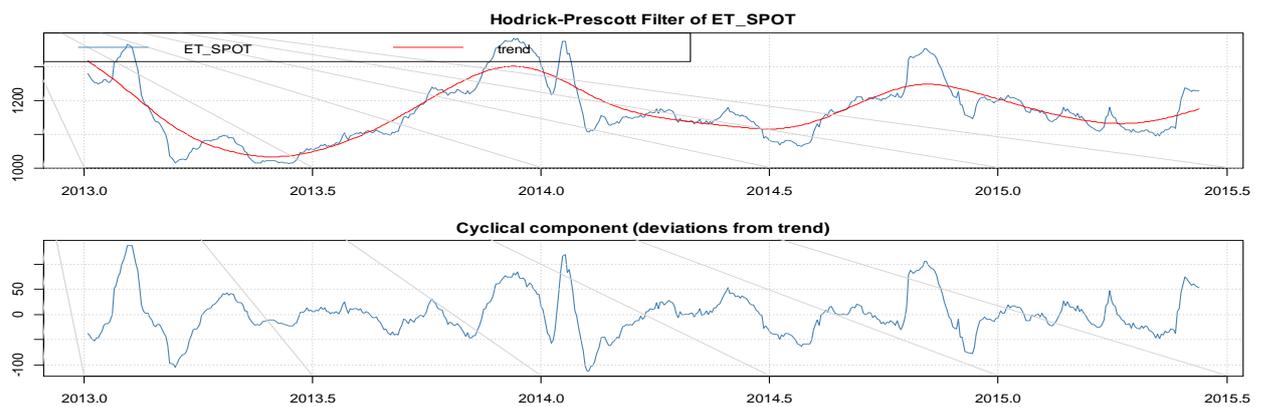


Figura 4 – Série do Etanol Hidratado à vista com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

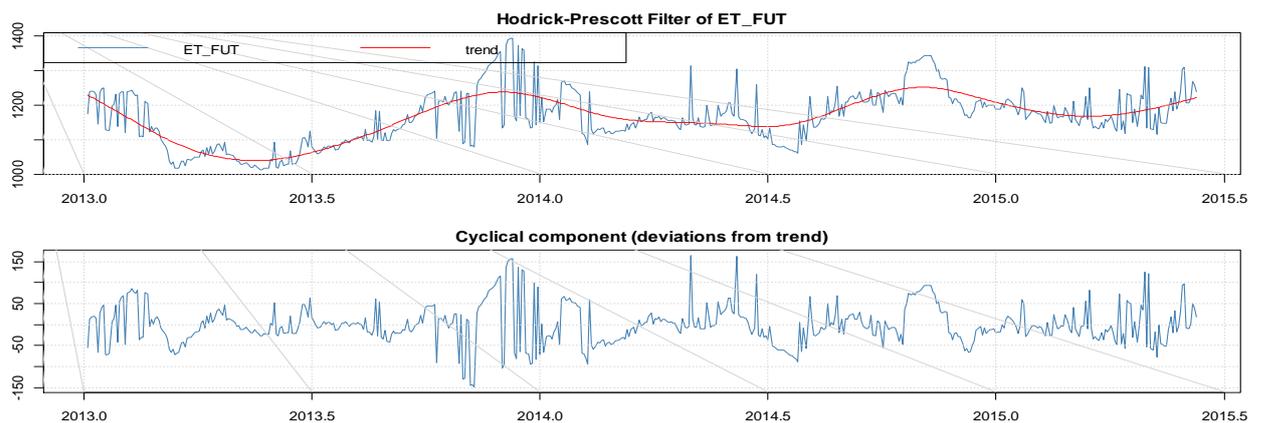


Figura 5 – Série do Etanol Futuro com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

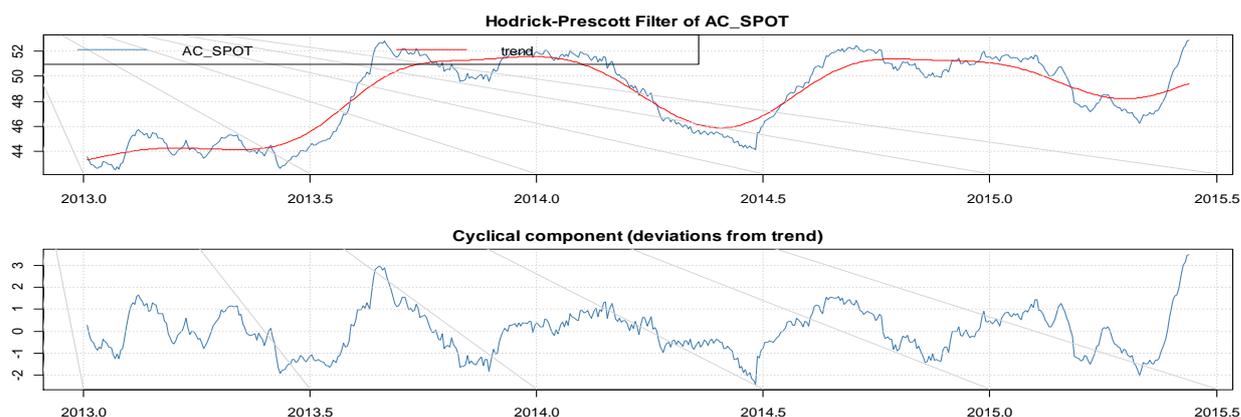


Figura 6 – Série do Açúcar à vista com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

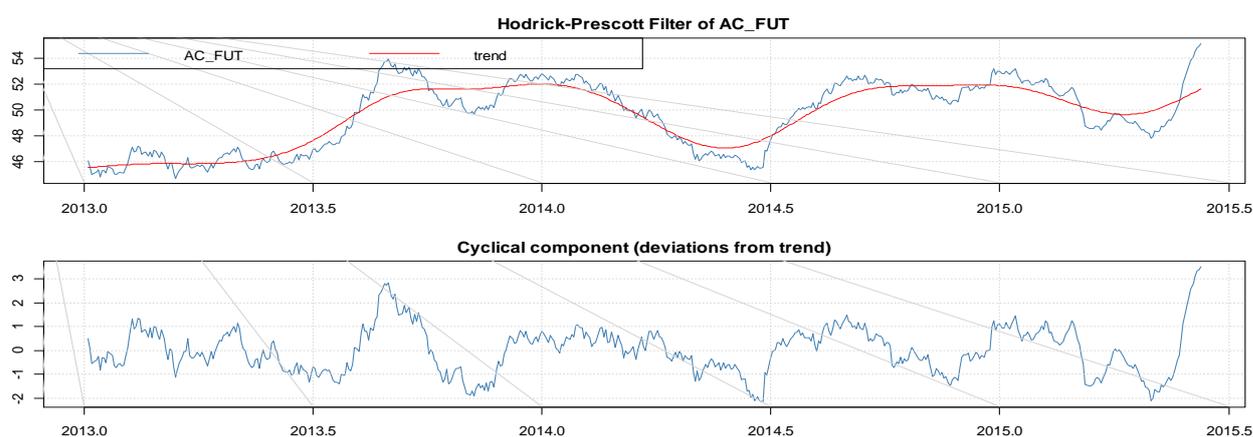


Figura 7 – Série do Açúcar nº 11 com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Na Figura 5 pode-se observar que o preço do etanol hidratado *spot* (em vermelho) logo após a aplicação do filtro HP apresenta um período de alta acentuada, que é seguido por uma zona de estabilidade até uma forte crescente observada a partir do final de setembro, alcançando o máximo de R\$ 1.341,00/m³ no início de 2014. Já as cotações do açúcar no mercado futuro evidenciam que a *commodity* passou por um período de alta volatilidade entre o final do segundo semestre de 2013 ao final de 2015, sinalizando que as entradas das informações interferiram no mecanismo dos preços cotados na *ICE Futures*.

Além disso, observou-se que os preços relacionados ao contrato de etanol hidratado negociado também passaram por fortes movimentos oscilatórios com tendência de baixa e de alta, acompanhando o comportamento do seu ativo subjacente no mercado à vista. Neste aspecto, os momentos em que os preços das *commodities* se aproximam aos preços no mercado futuro são tidos como aquele em que há uma maior convergência, mesmo com possíveis

intervenções, e que as entradas de informações no mercado à vista, por exemplo, podem interferir no mecanismo dos preços que são cotados no mercado futuro.

A análise do comportamento dos preços neste Período 1 tem continuidade com a apresentação das estatísticas descritivas dos indicadores em nível, já com a aplicação do filtro HP, e em primeira diferença, na Tabela 1, a fim de permitir uma avaliação complementar da volatilidade das séries, bem como a análise das medidas de tendência central e de formato.

Tabela 1 – Análise Exploratória dos Dados (com e sem o filtro HP, lambda=14440, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015 – 560 observações)

Variáveis	ET_SPOT	ET_FUT	AC_SPOT	AC_FUT	ET_SPOT_hp	ET_FUT_hp	AC_SPOT_hp	AC_FUT_hp	D_ET_SPOT	D_ET_FUT	D_AC_SPOT	D_AC_FUT	D_ET_SPOT_hp	D_ET_FUT_hp	D_AC_SPOT_hp	D_AC_FUT_hp
Mínimo	1013	1015	42,52	44,73	1029	1026	38,43	40,20	-40,50	-225,00	-0,98	-0,90	-7,41	-4,66	-0,15	-0,12
1º Quartil	1105	1111	45,41	46,80	1116	1102	42,09	43,81	-4,50	-9,61	-0,16	-0,17	-1,65	-1,74	-0,05	-0,05
Mediana	1154	1160	49,48	50,03	1150	1126	43,60	44,94	-0,50	0,12	0,02	0,02	-0,48	0,00	-0,01	-0,01
Média	1166	1165	48,46	49,58	1166	1132	43,79	45,05	-0,09	0,11	0,01	0,01	-0,15	-0,09	-0,00	-0,00
3º Quartil	1215	1215	51,29	51,89	1220	1174	45,42	46,50	5,00	8,05	0,17	0,21	2,07	1,64	0,04	0,03
Máximo	1384	1395	52,91	55,14	1341	1239	49,08	49,96	65,00	228,88	1,36	1,29	4,81	3,24	0,20	0,21
Desvio Padrão	88,96	78,25	3,07	2,60	7,06	56,10	2,79	2,45	10,63	49,03	0,25	0,28	2,85	2,04	0,08	0,07
Coefficiente de Variação	7,62	6,71	6,35	5,25	6,77	4,95	6,36	5,44	-115,41	421,74	15,52	17,88	-17,97	-21,28	-76,53	-73,33
Assimetria	0,56	0,34	-0,36	-0,23	0,32	0,07	0,07	-0,04	0,29	-0,14	0,17	0,15	-0,31	-0,25	0,52	0,57
Curtose	-0,18	-0,05	-1,36	-1,29	-3,61	-3,70	-3,75	-3,56	5,58	6,76	1,63	0,76	-0,39	-4,00	-3,34	-0,08
Jarque-Bera (x^2)	30,21	11,31	55,25	43,78	18,60	11,94	13,42	7,29	743,85	1078,92	66,37	16,57	12,60	29,27	28,11	31,44
Jarque-Bera (p-valor)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Legenda: **ET_SPOT:** Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **ET_FUT:** Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **AC_SPOT:** Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **AC_FUT:** Açúcar nº 11 *ICE Futures*; **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*. **ET_SPOT_hp:** Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ com filtro HP; **ET_FUT_hp:** Etanol hidratado futuro BM&FBovespa com filtro HP; **AC_SPOT_hp:** Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ com filtro HP; **AC_FUT_hp:** Açúcar nº 11 *ICE Futures* com filtro HP; **D_ET_SPOT_hp:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ com filtro HP; **D_ET_FUT_hp:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa com filtro HP; **D_AC_SPOT_hp:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ com filtro HP; **D_AC_FUT_hp:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures* com filtro HP. **Nota:** Ressalta-se que para a análise desta pesquisa foram utilizadas as séries com o filtro HP. As notações com o acréscimo do “_hp” tiveram o objetivo de diferenciar as séries nas Tabelas 1 e 3. Nas demais tabelas, as séries serão notadas sem o acréscimo do “_hp”.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Conforme a Tabela 1, os preços médios do etanol e do açúcar em ambos os mercados possuem uma baixa discrepância em nível, com um coeficiente de variação abaixo dos 7% nas quatro séries. Entretanto, quando estes valores são diferenciados, os valores aumentam significativamente, com destaque para os valores relacionados ao açúcar. Cabe ressaltar, que quando diferenciados, os valores do coeficiente de variação apresentaram resultados semelhantes, o que destaca um comportamento similar na volatilidade das séries analisadas, além de um desvio-padrão menor, quando comparados com os valores em nível, o que pode influenciar na estacionariedade das séries em sua primeira diferença.

Neste primeiro período, que compreende de 13 de março de 2013 a 24 de setembro de 2015, a série de retornos do etanol, seja em seus indicadores à vista, quanto futuro, possuem uma maior volatilidade, quando comparadas com o açúcar, que permanecem entre -7,41 (maior queda, em 04/05/2014) e 4,81 (maior alta, em 24/09/2015). Estas oscilações, em um período menor que dois anos, foram associadas às mudanças climáticas, que provocaram mudanças na oferta do açúcar e da respectiva matéria-prima, nas diversas regiões produtoras do globo. Com isso, os choques nesta oferta promoveram influência na economia dos países produtores e consumidores, destacando a forte volatilidade da *commodities* (FERREIRA FILHO; MORAES, 2014).

A própria subordinação do ciclo agrônomico da cana, caracterizado como uma cultura semiperene, com ciclo de seis a sete anos, e a ocorrência de intempéries ou níveis de preços que não permitam ao produtor sanar seus próprios custos operacionais, pode ocasionar crises ao produtor. Além disso, a escolha entre produzir etanol, durante uma determinada safra, ao invés de açúcar, depende de uma série de fatores e não somente dos preços (SANTOS; GARCIA; SHIKIDA, 2015)

Em relação ao açúcar, os retornos diários do Açúcar n. 11 na Bolsa de Nova Iorque e dos indicadores do CEPEA/ESALQ também apresentam certa volatilidade no período, com a alta máxima foi de aproximados 21%, também em 24/09/2015. O açúcar, por se tratar de uma *commodity* internacional, precisa atender alguns critérios de padronização para ser comercializado no mercado externo por intermédio das bolsas de valores. Neste aspecto, o financiamento público da produção, a determinação de cotas de produção, as barreiras à importação, os subsídios à exportação, salvaguardas especiais e outros mecanismos são algumas das distorções no comércio internacional do açúcar que contribuem para afetar não somente os preços como a produção e os estoques, gerando distorções nesse mercado (RAMOS, 2016).

Ao analisar a normalidade dos dados, optou-se pela aplicação do teste de Jarque-Bera, e neste aspecto, considerados os parâmetros de assimetria e curtose, e que sob a hipótese nula de normalidade, em todas as séries indicou-se a rejeição da hipótese nula de normalidade, denotando-se que os retornos oscilam significativamente em função das informações que entraram no mercado (MONTE; AMIN; PENA, 2013), uma vez que os valores para assimetria e curtose em uma distribuição normal são respectivamente, zero e três.

Em seguida, aplicaram-se os testes estatísticos Dickey-Fuller Aumentado (ADF), Phillips-Perron (PP) e Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), que são convencionalmente indicados pela literatura para verificar a estacionariedade em séries temporais. Uma série estacionária provoca um efeito temporário, mas que desaparece gradualmente, sem afetar uma série em um período tão longo de tempo. Entretanto, quando este choque não é rapidamente dissipado, alguns testes e transformações podem ser aplicados com a finalidade de verificar a presença destes componentes, como a presença de raízes unitárias ou tendência estocástica.

Logo, a constatação de estacionariedade em séries temporais é similar a testar a existência de uma raiz unitária. Caso a série seja estacionária em nível, é integrada de ordem zero, ou I (0). Caso seja preciso transformar a série para estacioná-la pela primeira ordem, a série torna-se integrada de ordem um, ou I (1). Esta transformação poderá ser realizada calculando o log-retorno das séries. Os resultados destes testes para as séries encontram-se descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Testes de Raiz Unitária e Estacionariedade (Filtro HP, Período de 13/03/2013 a 24/09/2015 – 560 observações)

Variáveis	ADF		PP		KPSS	
	τ	<i>p</i> -valor	t-ajustado	<i>p</i> -valor	LM-t	<i>p</i> -valor
ET_SPOT	-3,6262	0,02	-4,6316	0,8514	0,75673	0,01
ET_FUT	-3,87	0,01	-4,9874	0,8315	3,3469	0,01
AC_SPOT	-3,0791	0,47	-1,5214	0,9791	3,4447	0,01
AC_FUT	-2,9587	0,54	-1,7814	0,975	3,556	0,01
D_ET_SPOT	-2,9768	0,16	-4,4818	0,8597	0,6091	0,02
D_ET_FUT	-2,9478	0,18	-5,1678	0,8215	0,6447	0,02
D_AC_SPOT	-2,7796	0,25	-2,1971	0,963	0,3786	0,09
D_AC_FUT	-2,4507	0,39	-1,1338	0,9853	0,2767	0,10

Legenda: ET_SPOT: Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; ET_FUT: Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; AC_SPOT: Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; AC_FUT: Açúcar nº 11 ICE Futures; D_ET_SPOT: 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; D_ET_FUT: 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; D_AC_SPOT: 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; D_AC_FUT: 1ª Diferença do Açúcar nº 11 ICE Futures.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Os resultados dos testes ADF e PP indicaram que, os retornos das *commodities* analisadas são estacionárias, isto é, a média, variância e covariância são constantes. Logo, não existe raiz unitária, uma vez que a hipótese nula de presença de raiz unitária foi rejeitada. Em relação ao teste KPSS, os resultados apresentados indicaram que, quando diferenciados, não se rejeitou a hipótese nula de que a série de retornos à vista e futuro são estacionárias. Assim, conclui-se que, quando diferenciadas, existe estacionariedade para a série de preços à vista e futuro no período analisado. O próximo tópico destaca a estimação da razão ótima e efetividade de *hedge* das variáveis desta pesquisa.

As Figuras 8 a 11 ilustram as cotações das variáveis analisadas nesta dissertação no Período 2. Inicialmente, identifica-se a partir das Figuras 5 e 6, as que destacam o comportamento do etanol hidratado à vista e futuro, respectivamente, possuem uma linha de tendência em comum durante este período, indicando que as oscilações sofridas pela série temporal das cotações a vista são seguidas pelas cotações no mercado futuro da *commodity* na BM&FBovespa.

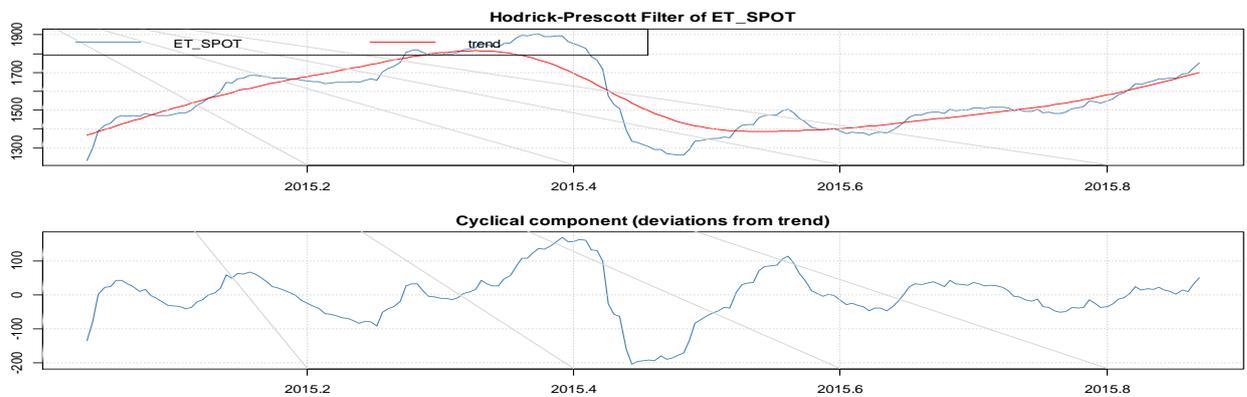


Figura 8 – Série do Etanol Hidratado à vista com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 25/09/2015 a 10/10/2016
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

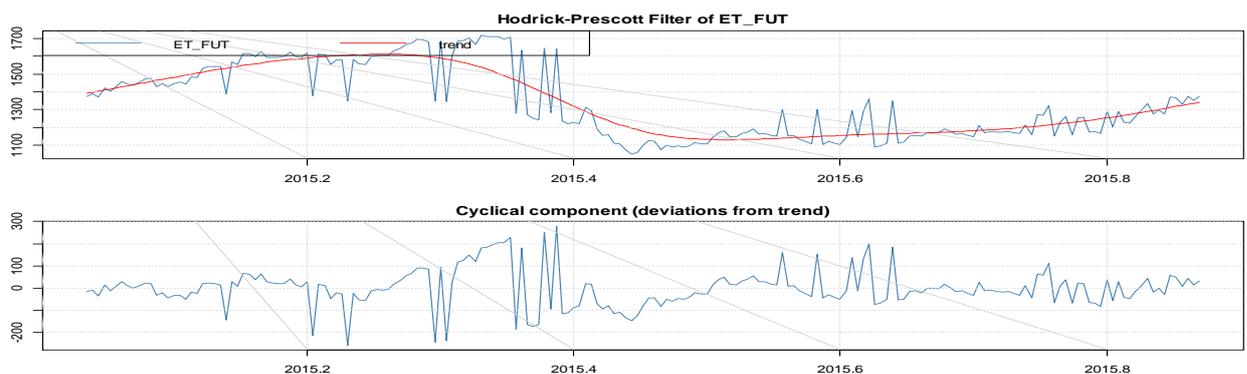


Figura 9 – Série do Etanol Futuro com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 25/09/2015 a 10/10/2016
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

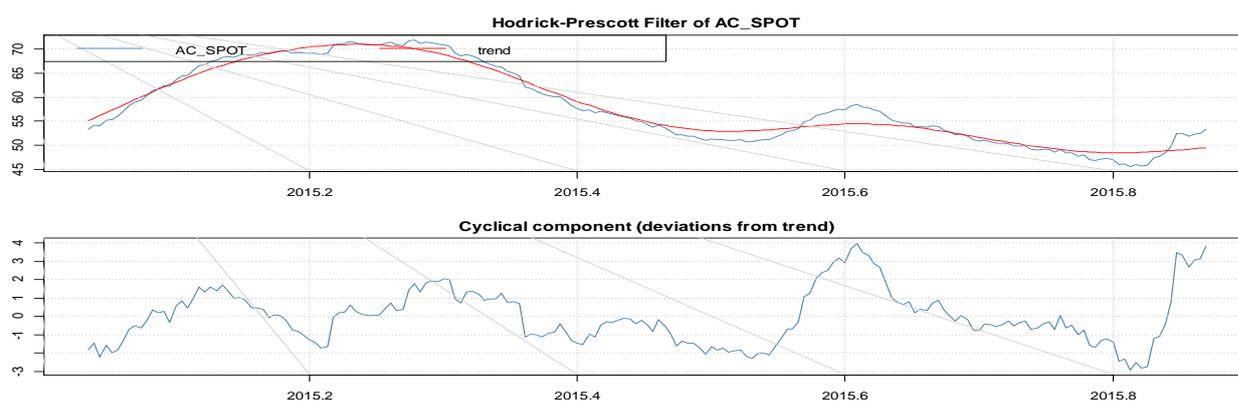


Figura 10 – Série do Açúcar à vista com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 25/09/2015 a 10/10/2016
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

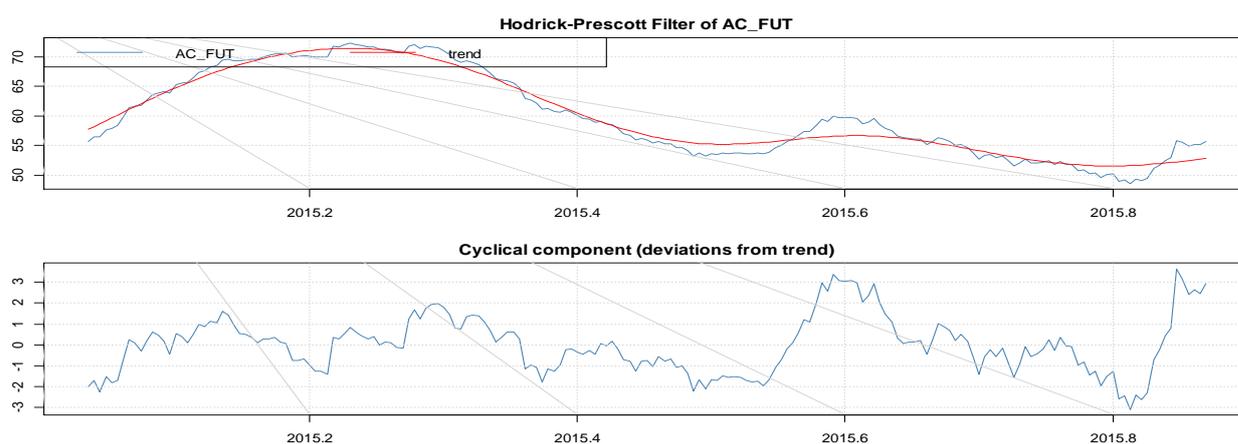


Figura 11 – Série do Açúcar nº 11 com Filtro HP, $\lambda=14400$, Período de 25/09/2015 a 10/10/2016
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Os preços do açúcar à vista e futuro entre 25 de setembro de 2015 e 10 de outubro de 2016 apresentaram um forte movimento oscilatório com tendência de alta, e a partir da primeira grande queda, tendências de alta e de baixa continuamente. É importante destacar que, no período de novembro de 2014 a novembro de 2015, a volatilidade implícita extraída do prêmio das opções sobre os contratos futuros de açúcar n° 11 da ICE, com o vencimento de março de 2016, contrato com maior liquidez, identificou forte elevação (DIAS; ROCHA; FINGER, 2016). Em complemento, as cotações do açúcar brasileiro seguiram a tendência dos preços internacionais, destacando a referência do Açúcar n° 11 para os agentes domésticos que operam no mercado do açúcar, tanto na ótica da oferta, quanto na demanda, conforme destacado por Campos (2010) e USDA (2014).

Quando analisados de forma geral, as quatro variáveis indicaram a tendência de subida presentes até o início do mês de março de 2016, impulsionada em decorrência dos problemas climáticos enfrentados, principalmente, por países asiáticos, conforme o relatório do CEPEA/ESALQ do respectivo mês. Em adição, no caso do etanol, o preço à vista se apresenta

maior em relação ao futuro em todo o período, e no caso do açúcar, o comportamento é contrário, sendo as cotações do mercado futuro, maiores do que o do mercado à vista. Para complementar a análise gráfica das variáveis, a Tabela 3 evidencia a análise exploratória dos dados para o Período 2.

Tabela 3 – Análise Exploratória dos Dados (sem e com o filtro HP, lambda=14440, Período 2: 25/09/2016 a 10/10/2016 – 193 observações)

Variáveis	ET_SPOT	ET_FUT	AC_SPOT	AC_FUT	ET_SPOT_hp	ET_FUT_hp	AC_SPOT_hp	AC_FUT_hp	D_ET_SPOT	D_ET_FUT	D_AC_SPOT	D_AC_FUT	D_ET_SPOT_hp	D_ET_FUT_hp	D_AC_SPOT_hp	D_AC_FUT_hp
Mínimo	1232	1245	53,28	55,68	1367	1131	48,43	51,51	-142,00	-424,39	-2,03	-1,65	-16,15	-15,03	-0,46	-0,41
1º Quartil	1460	1408	76,21	75,98	1440	1171	52,92	55,21	-4,62	-12,13	-0,12	-0,20	-0,27	-2,33	-0,20	-0,18
Mediana	1516	1500	81,59	80,99	1546	1290	54,84	56,70	2,00	3,60	0,17	0,16	3,55	1,43	-0,05	-0,04
Média	1568	1539	79,87	79,61	1568	1339	58,27	60,11	2,69	2,08	0,22	0,20	1,72	-0,25	-0,02	-0,02
3º Quartil	1670	1670	85,91	85,01	1683	1517	65,81	66,79	11,50	25,91	0,49	0,51	6,36	4,34	0,09	0,09
Máximo	1904	1859	96,49	94,69	1815	1612	70,95	71,51	91,50	405,00	3,04	3,15	9,93	6,14	0,55	0,49
Desvio Padrão	170,11	157,28	8,09	7,28	139,45	174,91	7,60	6,78	22,12	109,95	0,59	0,61	7,06	6,19	0,27	0,24
Coefficiente de Variação	10,85	10,21	10,13	9,14	8,89	13,06	13,04	11,28	8,20	52,77	2,63	3,04	4,09	-24,17	-9,43	-9,49
Assimetria	0,28	0,32	-1,08	-0,97	0,316	0,316	0,412	0,43	-1,77	-0,47	0,68	0,72	-1,21	-1,14	0,47	0,42
Curtose	-0,86	-0,94	1,54	1,38	-4,23	-4,52	-4,30	-4,30	13,35	5,13	3,02	2,39	3,43	3,150	-3,40	-3,44
Jarque-Bera (x^2)	8,37	10,33	58,68	47,46	15,08	21,54	18,79	19,57	1564,88	225,000	91,50	65,27	49,62	43,01	8,38	7,10
Jarque-Bera (p-valor)	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03

Legenda: **ET_SPOT:** Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **ET_FUT:** Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **AC_SPOT:** Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **AC_FUT:** Açúcar nº 11 *ICE Futures*; **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*. **ET_SPOT_hp:** Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ com filtro HP; **ET_FUT_hp:** Etanol hidratado futuro BM&FBovespa com filtro HP; **AC_SPOT_hp:** Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ com filtro HP; **AC_FUT_hp:** Açúcar nº 11 *ICE Futures* com filtro HP; **D_ET_SPOT_hp:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ com filtro HP; **D_ET_FUT_hp:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa com filtro HP; **D_AC_SPOT_hp:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ com filtro HP; **D_AC_FUT_hp:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures* com filtro HP. **Nota:** Ressalta-se que para a análise desta pesquisa foram utilizadas as séries com o filtro HP. As notações com o acréscimo do “_hp” tiveram o objetivo de diferenciar as séries nas Tabelas 1 e 3. Nas demais tabelas, as séries serão notadas sem o acréscimo do “_hp”.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Na análise descritiva evidenciada na Tabela 3, constata-se que as cotações médias diárias do etanol à vista e futuro foi de R\$1.568,00/m³ e R\$1.339,00/m³ respectivamente, no segundo período analisado, com um desvio padrão amostral de R\$139,45/m³ e de R\$174,91/m³, respectivamente. Com isso, percebe-se que o ajuste diário dos preços dos contratos futuros de etanol hidratado na BM&FBovespa foi mais alto do que o dos preços à vista.

Além disso, assim como na análise do Período 1, pode constatar a não normalidade das distribuições a partir do teste de Jarque-Bera, uma vez que os valores para a assimetria e a curtose em uma distribuição normal são, respectivamente, zero e três, rejeitando a hipótese nula de normalidade. Continuando a análise dos dados, a Tabela 4 destaca os testes de raiz unitária no Período 2.

Tabela 4 – Testes de Raiz Unitária e Estacionariedade (Em nível, Período 2: 25/09/2016 a 10/10/2016 – 193 observações)

Variáveis	ADF		PP		KPSS	
	p	p-valor	t-ajustado	p-valor	LM-t	p-valor
ET_SPOT	-2,0085	0,5726	-6,5807	0,7387	0,79022	0,01
ET_FUT	-1,2319	0,8976	-37,955	0,01	0,602	0,02
AC_SPOT	-3,0539	0,1351	-7,2295	0,7018	2,8927	0,01
AC_FUT	-2,9337	0,1854	-7,6717	0,6767	2,9413	0,01
D_ET_SPOT	-3,7353	0,0235	-88,97	0,01	0,30134	0,10
D_ET_FUT	-7,8147	0,01	-281,92	0,01	0,0644	0,10
D_AC_SPOT	-3,0074	0,1546	-139,88	0,01	0,62707	0,02
D_AC_FUT	-3,5466	0,039	-181,8	0,01	0,56005	0,02

Legenda: ET_SPOT: Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; ET_FUT: Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; AC_SPOT: Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; AC_FUT: Açúcar nº 11 ICE Futures; D_ET_SPOT: 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; D_ET_FUT: 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; D_AC_SPOT: 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; D_AC_FUT: 1ª Diferença do Açúcar nº 11 ICE Futures.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

De acordo com os resultados, não se rejeita a hipótese nula de que as cotações das quatro variáveis tenham raiz unitária em nível, sendo consideradas, portanto, séries integradas de primeira ordem ou I (1). Entretanto, esta hipótese passa a ser rejeitada em 1% quando foram testadas a partir dos retornos destas séries. Logo, as séries do etanol e do açúcar à vista e futuro não estacionam em nível, mas são estacionárias quando diferenciadas.

O próximo passo foi representado pelo teste de causalidade de Granger aos pares, com a finalidade de identificar se determinada variável seria capaz de melhorar a previsão de outra variável, isto é, se os preços à vista do etanol hidratado que melhor explicariam o preço das cotações dos contratos futuros do etanol hidratado com liquidação financeira da

BM&FBovespa, em primeiro vencimento, ou se nenhuma destas séries contribuiria para esta relação.

Para que exista uma relação de causalidade Granger entre as variáveis, espera-se que os coeficientes β da regressão sejam significativamente diferentes de zero pelo menos em uma das equações. Em relação a análise do *p-valor*, a hipótese nula no teste é de que não existe causalidade no modelo em nenhum dos sentidos. Logo, considerando-se um valor de 5% de significância estatística, o objetivo é rejeitar a hipótese nula, com a finalidade de, no caso exemplificado acima, destacar que a série de preços à vista do etanol hidratado negociados na BM&FBOVESPA causaria Granger as séries de preços do ativo subjacente no mercado futuro, e vice-versa. A Tabela 7 destaca os resultados dos testes realizados.

Tabela 5 – Teste de Causalidade de Granger

Períodos	Testes	F	Pr (>F)
Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015	D_ET_SPOT não causa D_ET_FUT	66,25	0,0000***
	D_AC_SPOT não causa D_AC_FUT	204,39	0,0000***
	D_ET_SPOT não causa D_AC_FUT	2,87	0,0908.
	D_AC_SPOT não causa D_ET_FUT	0,3374	0,5616
Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016	D_ET_SPOT não causa D_ET_FUT	771,82	0,0000***
	D_AC_SPOT não causa D_AC_FUT	908,53	0,0000***
	D_ET_SPOT não causa D_AC_FUT	38,68	0,0000***
	D_AC_SPOT não causa D_ET_FUT	0,070	0,7911

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*. **Significância:** ***: 0; **: 0.001; *: 0.01; (.): 0.05 (): 0.1

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Conforme observado, a hipótese nula do teste de causalidade foi rejeitada nos três primeiros modelos, exceto no *cross hedge* entre os preços do açúcar cristal à vista e o contrato futuro de etanol hidratado da BM&FBovespa. Com isso, a relação entre este par seria independente, denotando a ausência de uma procedência temporal definida. Este resultado foi similar ao encontrado em Santiago e Matos (2014), que também não identificaram a causalidade entre essas séries no período de 2010 a 2012.

5.2 Estimação pelo Modelo de Mínima Variância

Os resultados nas Tabelas 6 a 9 resumem as estimações relacionadas a razão ótima de *hedge* e a sua respectiva efetividade no Período 1, estabelecendo cruzamentos entre os ativos subjacentes no mercado à vista e futuro, quanto com o *hedge* cruzado. Em relação à razão ótima, os cálculos apresentados mostram que a comercialização da *commodities* possuem uma menor efetividade quando realizados de forma cruzada de açúcar, do que quando com o *own hedge*.

Entretanto, cabe ressaltar que o agente que comercializa valores próximos a zero no mercado brasileiro, realizando um *cross hedge* entre os indicadores do açúcar no CEPEA/ESALQ e com os contratos futuros de etanol hidratado na BM&FBovespa ainda possuiria a possibilidade de obter uma efetividade satisfatória, mas não altamente eficaz, a partir do modelo por MQO.

Tabela 6 - Razão Ótima de Hedge com o MQO: Estimação com o Etanol Spot (em 1ª diferença, Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015)

	D_ET_FUT	D_AC_FUT
D_ET_SPOT	1,33*** (0,02)	10,39*** (1,47)

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.
Significância: ***: 0; **: 0.001 *: 0.01; (.): 0.05 (): 0.1 **Nota:** Valores entre parênteses representam o erro-padrão.
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Tabela 7 - Efetividade de Hedge com o MQO: Estimação com o Etanol Spot (em 1ª diferença, Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015)

	D_ET_FUT	D_AC_FUT
D_ET_SPOT	90,94%	8,21%

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Os dados obtidos nas Tabelas 6 e 7 destacaram que o agente que comercializou a partir das cotações do etanol hidratado teria que negociar cerca de 1,33 contratos em sua posição do mercado futuro brasileiro, comprando ou vendendo os contratos de etanol hidratado na BM&FBovespa, para buscar minimizar aproximados 91% da variância da receita, o que denotaria uma operação com alta efetividade.

Em relação ao etanol hidratado brasileiro e a proteção a partir dos contratos futuros na ICE Futures, o agente teria que posicionar 10,39 contratos mercado futuro americano para mitigar a variância de sua receita em 8,21%. Logo, os resultados destacaram que a posição

cruzada não se mostrou eficiente na cobertura do risco, e minimizar a variância da receita do *hedger*.

Os resultados da Tabela 8 e 9 destacam o cálculo da razão ótima e da efetividade de *hedge* a partir dos indicadores de açúcar, e as alternativas com a proteção nos mercados futuros brasileiro e americano. Cabe ressaltar que os cálculos também estão em primeira diferença.

Tabela 8 - Razão Ótima de Hedge com o MQO: Estimação com o Açúcar Spot (em 1ª diferença, Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015)

	D_ET_FUT	D_AC_FUT
D_AC_SPOT	0,01*** (0,00)	1,07*** (0,01)

Legenda: D_ET_FUT: 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; D_AC_SPOT: 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; D_AC_FUT: 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.
Significância: ***: 0; **: 0.001 *: 0.01; (.): 0.05 () : 0.1 **Nota:** Valores entre parênteses representam o erro-padrão.
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Tabela 9 - Efetividade de Hedge com o MQO: Estimação com o Açúcar Spot (em 1ª diferença, Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015)

	D_ET_FUT	D_AC_FUT
D_AC_SPOT	3,67%	94,49%

Legenda: D_ET_FUT: 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; D_AC_SPOT: 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; D_AC_FUT: 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Os resultados destacaram que o agente que comercializou a partir dos indicadores de açúcar à vista no CEPEA/ESALQ manteria uma posição quase nula em contratos em sua posição do mercado futuro brasileiro, comprando ou vendendo os contratos de etanol hidratado na BM&FBovespa, mitigando 3,67% da variância da receita, o que denotaria uma operação com baixa efetividade, a partir de uma relação próxima a zero, enquanto, a relação ao açúcar brasileiro e a proteção a partir dos contratos futuros da *commodity* na *ICE Futures* denotaria uma posição de 1,07 contratos em diferença no mercado futuro americano para uma efetividade de aproximados 95%. Logo de forma geral, o *hedge* com as mesmas *commodities*, se mostrou eficiente ao minimizar a variância da receita do *hedger*.

Em continuidade, os resultados da Tabela 10 e 11 destacam o cálculo da razão ótima e da efetividade de *hedge* a partir dos indicadores de etanol, e as alternativas com a proteção nos mercados futuros da *commodity* na BM&FBovespa e no mercado de açúcar futuro americano, em primeira diferença no Período 2.

Tabela 10 – Razão Ótima de Hedge com o MQO: Estimação com o Etanol Spot (em 1ª diferença, Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016)

	D_ET_FUT	D_AC_FUT
D_ET_SPOT	0,98*** (0,04)	19,80*** (1,52)

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.
Significância: ***: 0; **: 0.001 *: 0.01; (.) : 0.05 () : 0.1 **Nota:** Valores entre parênteses representam o erro-padrão.
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Tabela 11 – Efetividade de Hedge com o MQO: Estimação com o Etanol Spot (em 1ª diferença, Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016)

	D_ET_FUT	D_AC_FUT
D_ET_SPOT	74,41%	47,02%

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Os resultados das Tabelas 10 e 11 destacaram que o agente que comercializou a partir das cotações do etanol hidratado em diferença teria que negociar cerca de um contrato em sua posição do mercado futuro brasileiro, comprando ou vendendo os contratos de etanol hidratado na BM&FBovespa, para buscar mitigar 74,41% da variância da receita, enquanto a relação do *cross hedge* evidencia a posição com aproximados 20 contratos no mercado futuro da *ICE Futures* para mitigar a variância de sua receita em 47,02%.

Logo, os resultados destacaram, assim como nas relações no Período 1, que, enquanto a posição em *own hedge* se mostra eficiente, a posição cruzada possui uma minimização baixa, embora relevante na cobertura do risco da receita do *hedger*. Em complemento, as Tabelas 12 e 13 destacam a relação entre as cotações à vista do açúcar brasileiro e das respectivas cotações no mercado futuro de etanol hidratado na BM&FBovespa e do açúcar futuro na *ICE Futures*, em seu primeiro vencimento.

Tabela 12 – Razão Ótima de Hedge com o MQO: Estimação com o Açúcar Spot (em 1ª diferença, Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016)

	D_ET_FUT	D_AC_FUT
D_AC_SPOT	0,03*** (0,00)	1,12*** (0,00)

Legenda: **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.
Significância: ***: 0; **: 0.001 *: 0.01; (.) : 0.05 () : 0.1 **Nota:** Valores entre parênteses representam o erro-padrão.
Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Tabela 13 – Efetividade de Hedge com o MQO: Estimação com o Açúcar Spot (em 1ª diferença, Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016)

	D_ET_FUT	D_AC_FUT
D_AC_SPOT	65,83%	99,75%

Legenda: D_ET_FUT: 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; D_AC_SPOT: 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; D_AC_FUT: 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Os resultados da razão ótima e da efetividade de *hedge* das variáveis supracitadas destacaram que o agente que comercializou a partir das cotações do açúcar brasileiro à vista no ainda manteria uma posição quase nula em contratos em sua posição do mercado futuro brasileiro neste Período 2, comprando ou vendendo os contratos de etanol hidratado na BM&FBovespa, entretanto mitigando 65,83% da variância da receita, o que denotaria uma operação com alta efetividade, e comparativamente maior, quando comparados com os resultados do Período 1, uma vez que, a partir de uma relação próxima a zero, o *hedger* mitigaria aproximados 70% da variância na receita do agente. Logo após, a relação ao açúcar brasileiro e a proteção a partir dos contratos futuros da *commodity* na *ICE Futures* denotaria uma posição de 1,12 contratos em diferença no mercado futuro americano para uma efetividade praticamente cheia.

Para complementar os resultados deste tópico, conforme visto nas estimações com o modelo de variância mínima na presente dissertação, os resultados destacaram, em geral, uma alta efetividade no cruzamento entre as *commodities* a vista com o seu ativo subjacente no mercado futuro, o que poderia ser considerada como uma evidência contrária as anteriores. Entretanto, consideradas as lacunas na estimação da razão ótima e na efetividade de *hedge* por MQO, abordadas na revisão de literatura, esta pesquisa buscou realizar os testes de Durbin-Watson para autocorrelação e de Park, para heterocedasticidade¹⁵, para os dois períodos analisados neste trabalho, conforme as Tabelas 14 e 15.

¹⁵ O teste d de Durbin-Watson é o mais usual para diagnosticar a autocorrelação residual de primeira ordem, e o teste de White foi escolhido por não estar sujeito à hipótese de normalidade. No primeiro teste, o valor calculado de d é confrontado com os valores do limite inferior e com o limite superior tabelado por Durbin e Watson, analisando a presença de autocorrelação positiva e negativa, rejeitando a hipótese nula de autocorrelação, a inconclusão ou aceitando a hipótese nula de não autocorrelação. No segundo teste é realizada uma regressão dos quadrados dos resíduos da regressão original frente as variáveis ou regressores originais, elevando seus valores ao quadrado e os produtos cruzados dos regressores (GUJARATI, 2012)

Tabela 14 – Teste de Durbin-Watson

	D_ET_FUT				D_AC_FUT			
	Período 1		Período 2		Período 1		Período 2	
	d	p-valor	d	p-valor	d	p-valor	d	p-valor
D_ET_SPOT	0.0067	0,00	0.0060	0,00	0.0031	0,00	0.0045	0,00
D_AC_SPOT	0.0029	0,00	0.0026	0,00	0.0034	0,00	0.0037	0,00

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

De acordo com os dados da Tabela 14, a estatística d de Durbin-Watson registrou um valor muito próximo a zero, indicando uma autocorrelação positiva, e com isso, rejeitando a hipótese de não autocorrelação em todas as séries analisadas. Logo, as estimativas dos coeficientes dos modelos são ineficientes, e a presença de correlação serial nos resíduos dos modelos poderiam, de forma geral, indicar a existência de uma estrutura dinâmica na variável dependente, que uma regressão linear não poderia capturar.

Tabela 15 – Teste de Park

	D_ET_FUT				D_AC_FUT			
	Período 1		Período 2		Período 1		Período 2	
	τ	p-valor	τ	p-valor	τ	p-valor	τ	p-valor
D_ET_SPOT	10,40	0,00	24,18	0,00	18,81	0,00	3,65	0,06
D_AC_SPOT	5,06	0,02	42,01	0,00	23,79	0,00	9,49	0,00

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Ademais, por meio do teste F, o valor da probabilidade foi rejeitada em todas as estimações analisadas, exceto no cruzamento do etanol à vista com o açúcar da *ICE Futures* entre o final de setembro de 2015 e o início de outubro de 2016, sugerindo, em geral, a presença de heterocedasticidade nos modelos, e ressaltando a hipótese de que a razão ótima de *hedge* das séries analisadas e a sua respectiva efetividade varia no tempo e de fato não seria estacionária.

Assim, os baixos índices na razão ótima e efetividade de *cross hedge* por MQO, seja no cruzamento dos preços do etanol à vista com os do açúcar da *ICE Futures*, quanto a das cotações do açúcar brasileiro com as cotações do etanol hidratado na BM&FBovespa, são contrárias aos resultados em outras *commodities* como soja (SILVA; AGUIAR; LIMA, 2003; ROCHA et al., 2010), boi gordo (OLIVEIRA NETO et al., 2010; SOUZA; CUNHA; WANDER, 2012; OLIVEIRA NETO; GARCIA, 2013), café (NOGUEIRA; AGUIAR; LIMA, 2002; HARZER

et al., 2014), milho (SOUZA, 2011; RODRIGUES; CUNHA, 2013), ou na relação da cana-de-açúcar brasileira com os contratos de açúcar em outras bolsas de valores, como a *London Stock Exchange* (RAABE; STADUTO; SHIKIDA, 2006) ou na *ICE Futures* em períodos anteriores (FREITAS, 2011).

Na tentativa de correção os parâmetros, optou-se pela estimação da razão ótima e da efetividade de *hedge* com o modelo por Vetores Autorregressivos, o VAR, e posteriormente, pelos modelos GARCH-BEKK.

5.3 Estimação por Vetores Autorregressivos

Este tópico buscou realizar as estimações a partir da aplicação do modelo por vetores autorregressivos. Em princípio, um dos pontos importantes para a estimação de um modelo VAR é a necessidade de calcular qual a defasagem apropriada para a especificação do modelo. Para a seleção do número de defasagens a ser utilizado nos modelos VAR foram realizados os testes de Akaike (AIC), Hannan-Quinn (HQ) e o teste Bayesiano de Schwarz (SC ou BIC), que permitem definir a quantidade de defasagens mais adequadas ao modelo. Entretanto, para definir as defasagens deste modelo, o critério informacional selecionado foi o SC, uma vez que leva em consideração os valores logaritmizados da série, indicando o melhor ajuste entre as alternativas (GUJARATI, 2012).

Para o cálculo da razão ótima e da efetividade de *hedge* e *cross hedge* foi utilizada a matriz de variâncias e covariâncias das séries de preços estimadas pelo modelo VAR, cujos resultados estão destacados nas Tabelas 16 e 17. A Tabela 16 destaca os resultados obtidos no Período 1 e a Tabela 17, os resultados do Período 2.

Tabela 16 – Razão Ótima e Efetividade de *Hedge* com Modelo VAR (Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015)

Modelos	Lags	σ_{sf}	σ_{ff}	h	σ_u^2	σ_h^2	e
D_ET_SPOT com D_ET_FUT	6	0,0000002317	0,0000056947	0,0407	0,0000003094	0,0000	3,05%
D_AC_SPOT com D_AC_FUT	4	0,0000000002	0,0000000003	0,6279	0,0000000002	0,0000	50,20%
D_ET_SPOT com D_AC_FUT	6	0,0000000000	0,0000000003	0,0997	0,0000003112	0,0000	0,00%
D_AC_SPOT com D_ET_FUT	4	0,0000000018	0,0000067618	0,0003	0,0000000002	0,0000	0,21%

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*; σ_{sf} é a covariância entre os preços à vista e futuros, σ_{ff} é a variância dos preços futuros e h é a razão de *hedge* ótima; e representa a efetividade de *hedging*, σ_u^2 é a variância da carteira não protegida e σ_h^2 é a variância da carteira protegida.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Os resultados obtidos na Tabela 16 destacaram em geral, uma relação próxima a zero entre as *commodities* à vista e os contratos futuros de etanol hidratado na BM&FBovespa e do açúcar nº 11 na *ICE Futures*. Logo, seriam necessários praticamente nenhum contrato futuro em ambos os mercados para mitigar o risco no mercado brasileiro de açúcar e etanol. Entretanto, junto à baixa razão ótima de hedge, os agentes teriam uma baixa efetividade de *hedge* na maioria dos casos também próximas a zero, exceto no *hedge* entre o açúcar brasileiro com os contratos de açúcar americano.

De forma detalhada, destaca-se que o agente que comercializou a partir das cotações do etanol hidratado teria que negociar cerca de 0,44 contratos de etanol hidratado na BM&FBovespa, mitigando apenas 3% da variância da receita. Em relação ao modelo de *cross hedge* utilizando o etanol hidratado à vista com a proteção a partir dos contratos futuros na *ICE Futures*, o posicionaria perto de um contrato para minimizar 50% na variância da receita do *hedger*. Este segundo modelo foi o que se mostrou a maior efetividade, dentre as estimações realizadas.

O terceiro modelo destaca que o agente manteria uma posição quase nula em contratos de etanol hidratado na BM&FBovespa a partir dos contratos de açúcar brasileiro, mas, sem mitigar a variância da receita do *hedger*, enquanto, a relação ao açúcar brasileiro e a proteção a partir dos contratos futuros da *commodity* na *ICE Futures* denotaria uma posição também próxima a zero, para uma efetividade também próxima a zero. Com isso, os dois últimos modelos não se mostraram eficientes ao mitigar a variância da receita do *hedger*.

Posteriormente, a Tabela 17 o cálculo da razão ótima e da efetividade de *hedge* a partir da aplicação do modelo VAR no Período 2, cabendo ressaltar que, para este segundo período, todos os modelos foram estimados com 4 defasagens.

Tabela 17 – Razão Ótima e Efetividade de *Hedge* com Modelo VAR (Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016)

Modelos	Lags	σ_{sf}	σ_{ff}	h	σ_u^2	σ_h^2	e
D_ET_SPOT com D_ET_FUT	4	-0,0000000480	0,0000294100	-0,0016	0,0000009178	0,0000	0,01%
D_AC_SPOT com D_AC_FUT	4	0,0000000008	0,0000000012	0,7136	0,0000000009	0,0000	66,86%
D_ET_SPOT com D_AC_FUT	4	0,0000000004	0,0000000012	0,3120	0,0000010418	0,0000	0,01%
D_AC_SPOT com D_ET_FUT	4	0,0000000114	0,0000289192	0,0004	0,0000000010	0,0000	0,47%

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*; σ_{sf} é a covariância entre os preços à vista e futuros, σ_{ff} é a variância dos preços futuros e h é a razão de *hedge* ótima; e representa a efetividade de *hedging*, σ_u^2 é a variância da carteira não protegida e σ_h^2 é a variância da carteira protegida.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

De forma geral, pode-se perceber que, assim como no Período 1, o cruzamento dos preços do açúcar à vista com o açúcar americano foi o que ofereceu uma efetividade de *hedge* significativa para o agente minimizar os riscos de preço inerentes à atividade, em detrimento aos demais modelos, que não ofereceram uma efetividade sequer acima dos 1%. Os resultados do segundo modelo destacou que, o agente que comercializou açúcar a partir dos preços do CEPEA/ESALQ base Santos/SP teria que negociar cerca de 0,71 contratos futuros do açúcar nº 11 para buscar minimizar aproximados 67% da variância da receita.

Estes achados vão de encontro com o estudo de Santiago e Mattos (2014), que no período de 2010 a 2012 identificaram que o agente que realizou esta mesma operação de *cross hedge* também denotaria uma operação com baixa efetividade (4,2%). Logo, ao realizar esta análise, os autores destacaram que os períodos analisados influenciaram na relação de *hedge* entre as *commodities* estudadas, e na consequente eficiência na cobertura do risco pelo *hedger*.

Para Tonin, Parré e Tonin (2014), caso os mercados de etanol apresentassem uma relação de longo prazo, com seus contratos futuros eficientes, espera-se que exista um maior envolvimento dos agentes em transacionar as *commodities* com a finalidade de mitigar problemas relacionados por problemas climáticos, por exemplo. O estudo dos autores corroborou a baixa eficiência do etanol com o VAR, só que este anidro, junto ao açúcar negociado na *ICE Futures*, destacando que os mesmos possuem mecanismos de transmissão de preços lentos, implicando em longos prazos para que se alcance uma maior efetividade de *cross hedge* entre estes mercados. Além disso, Margarido e Shikida (2012) discorrem que as elasticidades na transmissão dos preços do açúcar negociado na Bolsa de Nova Iorque são repassadas de forma lenta, o que decorre em uma respectiva lentidão também no equilíbrio deste mercado e na relação endógena destas *commodities*.

5.4 Estimação com o GARCH-BEKK

Este tópico está relacionado à aplicação do modelo GARCH-BEKK para a estimação da razão ótima e da efetividade de *hedge*. Os resultados dos testes empíricos com o modelo são apresentados a partir da Tabela 18.

Tabela 18 – Razão Ótima e Efetividade de *Hedge* com Modelo GARCH-BEKK (Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015)

Modelos	$\sigma_{sf} \Omega_{t-1}$	$\sigma_{ff} \Omega_{t-1}$	h	σ_u^2	σ_h^2	e
D_ET_SPOT com D_ET_FUT	35,5599	15,2916	2,32	91,9100	-37,9161	1,41%
D_AC_SPOT com D_AC_FUT	0,0001	0,0001	1,07	0,0000	0,0000	91,9%
D_ET_SPOT com D_AC_FUT	0,0375	0,0001	57,43	98,8168	94,5104	4,36%
D_AC_SPOT com D_ET_FUT	0,0377	19,7431	0,00	0,0001	0,0377	-38,59%

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*; $\sigma_{sf}|\Omega_{t-1}$ é a covariância entre os preços à vista e futuros considerada a matriz de variância e covariância condicional pelo modelo GARCH-BEKK, $\sigma_{sf}|\Omega_{t-1}$ é a variância dos preços futuros considerada a matriz de variância e covariância condicional pelo modelo GARCH-BEKK e h é a razão de *hedge* ótima; e representa a efetividade de *hedging*, σ_u^2 é a variância da carteira não protegida e σ_h^2 é a variância da carteira protegida.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Tabela 19 – Razão Ótima e Efetividade de *Hedge* com Modelo GARCH-BEKK (Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016)

Modelos	$\sigma_{sf} \Omega_{t-1}$	$\sigma_{ff} \Omega_{t-1}$	h	σ_u^2	σ_h^2	e
D_ET_SPOT com D_ET_FUT	2643,125	3162,847	0,83	3605,351	1830,867	49,21%
D_AC_SPOT com D_AC_FUT	0,0085	0,0066	1,28	0,0108	-0,0023	1,21%
D_ET_SPOT com D_AC_FUT	3,3822	0,0043	76,90	3546,948	3027,103	14,65%
D_AC_SPOT com D_ET_FUT	4,6658	4751,495	0,001	0,0065	4,6632	-70,97%

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*; $\sigma_{sf}|\Omega_{t-1}$ é a covariância entre os preços à vista e futuros considerada a matriz de variância e covariância condicional pelo modelo GARCH-BEKK, $\sigma_{sf}|\Omega_{t-1}$ é a variância dos preços futuros considerada a matriz de variância e covariância condicional pelo modelo GARCH-BEKK e h é a razão de *hedge* ótima; e representa a efetividade de *hedging*, σ_u^2 é a variância da carteira não protegida e σ_h^2 é a variância da carteira protegida.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

De acordo com a Tabela 18, as razões de *hedge* que definem a proporção ótima de contratos futuros que minimiza a variância da posição no mercado *spot* foram de 2,32 para a relação entre o etanol à vista e o etanol futuro, de 1,07 para a relação entre o açúcar à vista e o açúcar futuro, de 57,43 na relação etanol à vista e açúcar futuro e de uma relação zero entre o açúcar à vista e o etanol futuro.

A aplicação da razão obtida pelo modelo GARCH-BEKK atingiu resultados significativos na estimação do *hedge* entre o açúcar à vista e o respectivo contrato futuro na *ICE Futures*, apontando para a mitigação do risco dos preços em aproximados 92%, fato este que não se estendeu aos demais modelos, que, dentre estes apontou até mesmo um resultado negativo, destacando a não viabilidade em estabelecer o *cross hedge* entre o açúcar à vista e o contrato de etanol hidratado com liquidação financeira na BM&FBovespa.

A aplicação da razão de *hedge* ótima permitiu resultados baixos relacionados a efetividade de *hedge*, conforme destacado na Tabela 19, apontando para a minimização do risco de preços entre -70,97%, o que destacou uma maior inviabilidade do *hedge* entre o açúcar à vista e o contrato futuro de etanol hidratado da BM&FBovespa, até mesmo quando comparado ao Período 1, e 49,21%, a partir do *hedge* entre os preços do etanol hidratado à vista e o respectivo contrato futuro negociado na bolsa brasileira. A inviabilidade constatada no *cross hedge* entre o açúcar à vista e o futuro do etanol pode ser justificada também pela ausência de uma procedência temporal definida na dinâmica entre estas séries, conforme identificado no teste de causalidade de Granger.

A baixa efetividade a partir da aplicação do GARCH-BEKK foi observada também no trabalho de Freitas (2011) que destacou uma razão ótima de *hedge* média de 45,63%, destacando que, mesmo com esta efetividade, adotar qualquer posicionamento no mercado de contratos futuros ser preferível a permanecer em uma situação completamente descoberta no mercado à vista. Cabe ressaltar que possíveis custos de transação envolvidos nas negociações no mercado futuro podem representar um menor incentivo para a realização de *hedge* com o mercado futuro, por exemplo, além da possibilidade destes produtores possuírem outros investimentos fora do agronegócio.

Neste aspecto, seriam baixas as evidências de eficiência no que tange a mitigação desta volatilidade em relação as *commodities*, fato este que corrobora os achados de Nogueira (2013), que destacou que os contratos futuros de etanol hidratado ainda não seriam eficientes para minimizar os riscos de preço. No período analisado nesta pesquisa, o contrato futuro de etanol hidratado na BM&FBovespa apresentou um volume de 2.514 contratos negociados (1.986 e 528 contratos nos períodos 1 e 2, respectivamente).

O açúcar, por se tratar de uma *commodity* internacional, precisa atender alguns critérios de padronização para ser comercializado no mercado externo por intermédio das bolsas de valores (RAMOS, 2016), sofrendo interferências seja em países produtores ou consumidores, e que podem causar distorções nos preços, na produção e nos estoques, e, por consequência, na mitigação do risco do agente através de uma estratégia de *cross hedge*. De acordo com Brorsen e Fofana (2001), para que os contratos futuros exerçam a sua função de forma eficiente, algumas condições devem ser satisfeitas, e dentre estas condições, destaca-se que os mecanismos de *hedge* deveriam ser mais eficientes que os próprios mecanismos de *cross-hedge*.

O trabalho de Raabe, Staduto e Shikida (2006) demonstrou que a efetividade de *hedge* com o mercado futuro da BM&FBovespa seria superior ao dos mercados das bolsas de Londres e de Nova Iorque. Entretanto, uma vez que os contratos futuros de açúcar do mercado brasileiro

quase não possuem negociabilidade atualmente, devido a sua descontinuidade na BM&FBovespa este fato não pôde ser analisado nesta dissertação.

Os mercados agropecuários brasileiros possuem características da adaptabilidade dos agentes às mudanças no ambiente dos mercados, adaptando-se às preferências de negociação dos agentes, ao alterar, lançar, ou, até mesmo, descontinuar os contratos, sugerindo uma perspectiva adaptativa à eficiência desses mercados (RODRIGUES; MARTINES FILHO, 2016). Com isso, uma maior cobertura do risco dos preços *spot* do açúcar brasileiro junto aos contratos futuros desta *commodity* no mercado americano pode levantar uma discussão relacionada a eficiência do *hedging* dos preços à vista das *commodities* brasileiras negociadas na BM&FBovespa junto aos contratos futuros domésticos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os agentes de mercado buscam, cada vez mais, ferramentas de proteção para mitigar os riscos inerentes às oscilações nos preços das *commodities*, uma vez que o interesse destes agentes é de que os fluxos operacionais sejam positivos e próximo ao que era esperado. Logo, o *hedge* pode ser utilizado como uma ferramenta estratégica na gestão de risco para a empresa ou para o produtor, uma vez que a possibilidade de redução e de transferência do risco é um dos principais argumentos utilizados na área, na defesa da utilização do mercado futuro como uma ferramenta de mitigação no risco de mercado.

Esta pesquisa buscou estimar a efetividade do *cross hedge* e *own hedge* entre os preços do etanol hidratado e do açúcar base Santos/SP, junto aos contratos futuros de etanol hidratado com liquidação financeira da BM&FBovespa e do açúcar nº 11 da *ICE Futures*. Considerou-se neste trabalho, o contexto de que o agente do mercado físico de etanol e de açúcar poderia fazer uso das operações de *hedge*, como forma de mitigar a variância de sua receita e, sobretudo, para evidenciar a proteção de eventuais perdas sofridas pelas oscilações de preço.

Preliminarmente, buscou-se analisar o comportamento das séries de etanol e de açúcar à vista, que, de forma geral, apresentaram nos dois períodos fortes movimentos oscilatórios, acompanhando os movimentos do ativo subjacente no mercado futuro. De acordo com a União da Indústria de Cana de Açúcar (ÚNICA, 2016c), a volatilidade dos preços do açúcar foi ocasionada por fatores externos e internos, relacionados ao excesso de oferta no mercado internacional nos últimos dois anos e aumento da produção doméstica de açúcar em função da perda de competitividade do próprio etanol.

O Brasil já possui um bom mercado doméstico de etanol, com as inovações adotadas pelas usinas e proporcionando, por consequência, uma maior competitividade internacional. Junto a isso, a tendência de aumento do preço do petróleo no mercado internacional e o próprio interesse mundial pelas questões ambientais podem demandar um maior número de exportações do etanol brasileiro, ampliando a participação do país no mercado global de etanol, junto ao comprometimento de importantes consumidores de combustíveis como Estados Unidos e China (REN, 2012).

Em relação às estimações, no primeiro modelo foi aplicado o *hedge* de mínima variância, por meio do MQO. No segundo, a estimação levou em consideração as variáveis da regressão como endógenas, calculando assim, a razão ótima e a efetividade de *hedge* por meio do modelo por Vetores Autorregressivos (VAR). E, por fim, foi utilizado o modelo GARCH-BEKK, considerando a variância condicional das séries analisadas, a fim de alcançar o objetivo

geral desta pesquisa. As modelagens consideraram a suavização por filtro HP e a divisão em dois períodos. O Período 1 compreendeu um total de 560 observações, de 13/03/2013 a 24/09/2015, e o segundo, de 25/09/2015 a 10/10/2016, em um total de 193 observações.

Dentre os modelos analisados no primeiro período, a que resultou em uma maior possibilidade na mitigação na variância da receita do *hedger*, foi o cruzamento entre os preços do açúcar brasileiro com os contratos futuros de açúcar, que estimou uma efetividade de aproximados 95%, com o modelo de variância mínima. Em seguida, a mesma relação, só que com o modelo dinâmico. Nesta relação, uma menor mitigação foi obtida através do cruzamento dos preços do etanol hidratado com o respectivo contrato futuro de etanol hidratado com liquidação financeira da BM&FBovespa. Para o segundo período, os resultados pelo modelo de variância mínima, assim como no Período 1, foram o que apresentaram uma maior efetividade de *hedge*, com um destaque de uma cobertura completa no *hedge* entre as cotações do açúcar brasileiro e do contrato futuro americano.

Entretanto, na aplicação do GARCH-BEKK os resultados destacaram que, quando considerada a dinâmica da volatilidade entre o final de setembro de 2015 e o início de outubro de 2016, os resultados não chegam aos 50%, deduzindo que o *hedge* neste período não foi efetivo e que não possibilitaria uma diminuição significativa na redução do risco aos *hedgers*. No entanto, o *hedge* com as mesmas *commodities*, mesmo baixo, se mostrou mais eficiente ao minimizar a variância da receita do *hedger* no período após o reajuste de 6% da gasolina nas refinarias do país e da interrupção momentânea da colheita e produção de etanol devido às precipitações no período após o final de setembro de 2015.

Comparando os resultados entre os modelos, notou-se que a razão ótima de *hedge* obtida com o modelo GARCH-BEKK foi próxima à obtida pelo MQO no *hedge* entre o açúcar à vista e o contrato futuro americano. No entanto, conforme mencionado na revisão sobre modelos estáticos, a razão ótima de *hedge* calculada pelo modelo de mínima variância possuem lacunas relacionadas a presença de agrupamentos de volatilidades e de heterocedasticidade, que violam, por consequência, algum dos pressupostos do modelo clássico de regressão linear.

Logo, a razão ótima de *hedge* por MQO desconsideraria períodos em que o coeficiente poderá superestimar ou subestimar o coeficiente desta razão, e por consequência, o dinamismo do mercado e o risco do agente ao se posicionar no mercado futuro com um número de contratos inferior ao necessário, por exemplo. Porém, mesmo diante do exposto, cabe ressaltar, conforme observação de Monteiro et al. (2013) que a justificativa para utilizar modelos constantes estaria relacionada a possibilidade do *hedger* que permaneceria com a mesma razão entre sua exposição ao mercado à vista em relação ao mercado futuro, sem a calibragem do portfólio,

diante do acréscimo de conteúdo informacional no mercado. Com isso, não seriam essenciais correlações variantes no tempo, com a finalidade de estimar a razão ótima e a efetividade de *hedge*.

Outro aspecto está relacionado à própria percepção de risco do agente, uma vez que a percepção de risco subjetiva, isto é, a percepção própria do produtor, pode ser diferente do risco real, que é calculado pelo mercado. Em linhas gerais, um produtor pode ter expectativa de que os seus preços estejam sempre elevados, quando comparados com a média histórica, ou que estes preços não variem quando comparados com esta média histórica, incentivando ou não na realização de *hedge* no mercado futuro doméstico ou internacional.

Com isso, diante da possibilidade em se proteger diante das incertezas do mercado, especificamente, no setor sucroenergético, a partir dos resultados desta pesquisa, a relação entre as *commodities* analisadas nesta dissertação não necessariamente promoveria uma maior proteção contra a volatilidade ou o risco no mercado *spot*. Por fim, sugere-se que este trabalho seja expandido para analisar o *hedge* por tipo de participante, para realização de estimações com contratos em segundo vencimento, além da expansão para outros mercados domésticos e o respectivo *hedge* com os contratos futuros.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2015**. Rio de Janeiro: ANP, 2015. Disponível em: <<http://goo.gl/CqcTzZ>> Acesso em: 23 mar. 2016.
- ALEXANDRI, C. Analysis of price transmission along the agri-food chains in Romania. **Agricultural Economics and Rural Development**, v. 8, n. 2, p. 171-189, 2011.
- AMORIM NETO, C. S. **Efetividade do hedge para o boi gordo com contratos futuros da BM&FBOVESPA: análise para os estados de São Paulo e Goiás**. Piracicaba, 2015. 49 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- ANDERSON, R. W.; DANTHINE, J. P. Cross Hedging. **The Journal of Political Economy**, v. 89, n. 6, p. 1182-1196, dez., 1981.
- AZEVEDO, M. S. de; SANTOS, R. V. de O.; MAGALHÃES, T. V. Produção de Etanol no Brasil. **Bolsista de Valor**. v. 2, n. 1, p. 151-154, 2012.
- BABA, Y.; ENGLE, R. F.; KRAFT, D. F.; KRONER, K. F. **Multivariate Simultaneous Generalized ARCH**. Mimeo. San Diego: Department of Economics, University of California, 1990.
- BACCHI, M. R. P.; LIMA, L. M.; BRAGATO, I. R. Preços domésticos do Etanol: variabilidade e fundamentos. In: MARJOTTA-MAISTRO, M. C. (Org.) **Desafios e perspectivas para o setor sucroenergético do Brasil**. São Carlos: EdUFSCAR, 2011, p. 151-175.
- BALCOMBE, K.; RAPSOMANIKIS, G. Bayesian estimation and selection of nonlinear vector correction models: the case of the sugar-ethanol-oil nexus in Brazil. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 90, n. 3, p. 658–668, ago. 2008.
- BATALHA, M. O.; SILVA, A. L. O. Gerenciamento de sistemas agroindustriais: definições, especificidades e correntes metodológicas. In: BATALHA, Mário. O. (Coord.). **Gestão agroindustrial**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- BITTENCOURT, W. A.; SILVA, W. S.; SÁFADI, T. Hedge dinâmicos: uma evidência para contratos futuros brasileiros. **Organizações Rurais & Agroindustriais**. Lavras, v. 8, n. 1, p. 71-78, 2006.
- BM&FBOVESPA. **Perfil e Histórico**. Disponível em: <<http://ri.bmfbovespa.com.br/static/ptb/perfil-historico.asp?idioma=ptb>> Acesso em: 13 abr. 2016a.
- _____. **Futuro de Açúcar Cristal com Liquidação Financeira**. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/listados-a-vista-e-derivativos/commodities/futuro-de-acucar-cristal-com-liquidacao-financeira.htm> Acesso em: 16 abr. 2016b.
- _____. **Ofício Circular 018/2010-DP**. 2010. Lançamento dos contratos futuros e de opções sobre futuro de etanol hidratado com liquidação financeira. 2010. Disponível em: <

http://www.bmf.com.br/bmfbovespa/pages/contratos1/Agropecuarios/pdf/Etanol_Hidratado_Liquidacao_Financeira-Futuro.pdf> Acesso em: 16 mar. 2016.

BM&FBOVESPA; COMITÊ DE VALORES MOBILIÁRIOS. **Mercado de Derivativos no Brasil: Conceitos, Produtos e Operações**. Rio de Janeiro: BM&FBovespa – CVM, 2015. Disponível em: < <http://goo.gl/KKy0nN>> Acesso em 27 abr. 2016

BODIE, Z.; ZANE, A.; MARCUS, A. J. **Investimentos**. 8 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

BOLLERSLEV, T. Generalized autorregressive conditional heterocedasticity. **Journal of Econometrics**. v. 31, p. 307-327, 1986.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Agrário (MAPA). *Estatísticas de Comércio Exterior: informe de produtos*. Brasília DF, 2011.

BROSEN, B. W.; FOFANA, N. Z. F. Success and failure of agricultural futures contracts. **Journal of Agribusiness**. v. 19, n. 2, p. 129-145, 2001.

BUENO, R. de L. da S. **Econometria de séries temporais**. 2.ed. Cengage Learning: São Paulo, 2011.

CAMPOS, S. K. Fundamentos econômicos da formação do preço internacional de açúcar e dos preços domésticos de açúcar e etanol. 145 p. **Tese** (Doutorado em Ciências, Área de Concentração: Economia Aplicada) — Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

CARMONA, C. U. de M.; AQUINO, J. T. de; PAREDES, B. J. B.; TORRES, M. de L. Teoria do *Hedge*: Recortes Teórico-Empíricos aplicados à Gestão do Risco com Derivativos. **RIC - Revista de Informação Contábil**. v. 8, n. 2, p. 29-48, abr-jun/2014.

CHINZARA, Z.; AZIAKPNO, M. J. **Dynamic returns linkages and volatility transmission between South African and world major stock markets**. 4 Set. 2009. *Working paper* n. 146. Rhodes University. Disponível em: < http://www.econrsa.org/papers/w_papers/wp146.pdf> Acesso em: 16 mar. 2016

COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Série Histórica de Produção de Açúcar**. 2016. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos> Acesso em 13 abr. 2016

COPELAND, T. E.; WESTON, J. F.; SHASTRI, K. **Financial theory and corporate policy**. 4 ed. Reading: Addison-Wesley, 2005.

DEMCHUK, A. **Produção de cana-de-açúcar para obtenção de etanol hidratado no Rio Grande do Sul: uma análise utilizando dinâmica de sistemas**. 88 p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

DIAS, L. V. A.; ROCHA, V. K. O.; FINGER, A. B. Análise da dinâmica de preços diários para o açúcar e o etanol de Alagoas. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 54, 2016, Maceió. **Anais...** Maceió: SOBER, 2016.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, 74, p. 427– 431, 1979.

EDERINGTON, L. H. The hedging performance of the new futures markets. **The Journal of Finance**. v. 34, p. 157-170, 1979.

ENGLE, R. F. Autorregressive conditional heterocedasticity with estimates of variance of UK inflation. **Econometrica**. v. 50, p. 987-1008, 1982.

_____; KRONER, K. F. Multivariate Simultaneous Generalized ARCH. **Econometric Theory**, v. 11, n. 1, p. 122-150, mar. 1995.

FARINA, E.; PEREDA, P.; VIEGAS, C. Estrutura de Mercado e Concorrência do Setor de Etanol. **Informações FIPE**. n. 359, p. 8-11, ago/2010.

FERREIRA FILHO, J. B. D. S.; MORAES, G. I. DE. Climate change, agriculture and economic effects on different regions of Brazil. **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 1, p. 37-56, 2014.

FIA - FUTURES INDUSTRY ASSOCIATION. **2015 Annual Survey: Global Derivatives Volume**. Disponível em: <<http://goo.gl/Bd572R>> Acesso em 04 abr. 2016

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Agricultural Outlook 2015-2024**. 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4738e.pdf>> Acesso em 23 mar. 2016.

FREITAS, B. W. **Contratos futuros de açúcar: uma análise comparativa entre as estratégias de hedge**. Recife, 2011. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal de Pernambuco.

FURTADO, A. T. (Org.) **Capacitação tecnológica, Competitividade e Política Industrial: uma Abordagem Setorial e por Empresas Líderes**. Texto para Discussão n. 348. Brasília: Ipea, 1994. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_0348.pdf> Acesso em 13 abr. 2016

GAVOTTI, F. S. M. **Oportunidades de Hedge no Mercado de Açúcar: Uma Análise por Meio da Base**. 64 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Agroenergia) — Escola de Economia de São Paulo – FGV/EESP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

GEORGIU, C. **Las expectativas racionales**. In: MARRON, D. (Org.) 50 teorias económicas: sugerentes y desafiantes. Barcelona: Blume, 2011.

GILIO, L. **Análise dos impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético**. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

GUERRA, R. R., DORR, A. C. e FREITAS, C. A. A efetividade de hedge para o mercado de boi gordo nas praças do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, vol. 11, nº 11, 2013, p. 2462-2478.

GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

HARZER, J.H.; SILVA, W.V. da; SOUZA, A.; DEL CORSO, J.M. Efetividade do hedge de variância mínima no mercado futuro de café negociado na BM&FBovespa. **Custos e @gronegocio on line** - v. 10, n. 1. jan/mar. 2014, p. 169-189.

- HERBST, A. F.; KARE, D. D.; MARSHALL, J. F. A time varying convergence adjusted, minimum risk futures *hedge* ratio. **Advances in Futures and Options Research**, v. 6, p. 137-155, 1993.
- HULL, J. C. **Options, Futures, and Other Derivatives**. 8 ed. Prentice Hall, 2011.
- ICE FUTURES. **Sugar n. 11 Futures**. Disponível em: <
<https://www.theice.com/products/23/Sugar-No-11-Futures>> Acesso em 17 abr. 2016
- JOHNSON, L.L. The theory of hedging and speculation in commodity futures. **Review of Economics Studies**, v. 27, p. 139-151, 1960.
- KAIRALLA, P. C. **Avaliação do risco e o impacto de *hedge* simultâneo de preços e câmbio para o exportador de café no Brasil**. Piracicaba, 2015. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C. B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. **Journal of Econometrics**. n. 54, p. 159–178, 1992.
- LIEBERG, V. **A influência do estoque mundial de açúcar sobre o preço internacional dessa commodity**. 2014. 87p. Dissertação (Mestrado em Economia e Gestão do Agronegócio) – Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 2014.
- LIEN, D.; LUO, X. Multiperiod Hedging in the Presence of Conditional Heterocedasticity. **Journal of Futures Markets**. v. 14, p. 927-955, 1994.
- MACHADO, D. V. **A Política Externa do Etanol: Estratégias do estado logístico para inserção internacional dos biocombustíveis brasileiros**. 2014. 270p. Tese (Doutorado em Relações Internacionais) – Instituto de Relações Internacionais, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- MARGARIDO, M. A. e SHIKIDA, P. F. A. Análise da transmissão de preços e das volatilidades entre o mercado internacional do petróleo e de açúcar importados pelos Estados Unidos. **Revista de Economia e Relações Internacionais**, vol. 10, n° 20, 2012.
- MARKOWITZ, H. Portfolio selection. **The Journal of Finance**. v. 7, n. 1, p. 77– 91, mar. 1952.
- MELO, A. de S.; SAMPAIO, Y. de S. B. Impactos dos Preços da Gasolina e do Etanol sobre a Demanda de Etanol no Brasil. **Revista de Economia Contemporânea**. v. 18, n. 1, p. 56-83, jan-abr/2014.
- MONTEIRO, W. de F.; RODRIGUES, M. A.; ALVES, A. F.; PARRÉ, J. L. A não efetividade do *hedge* para o boi gordo. **Revista de Economia**. v. 39, n. 1, p. 149-166, jan/abr. 2013.
- MORAES, M.; BACCHI, M. Etanol, do início às fases atuais de produção. **Revista de Política Agrícola**, ano 23, n. 4, p. 5-22, out./nov./dez. 2014.
- MYERS, R. J.; THOMPSON, S. R. Generalized Optimal Hedge Ratio Estimation. **American Journal Agricultural Economics**. v. 71, n.4, p. 858-868, nov. 1989.

MYERS, R. J.; THOMPSON, S. R. Optimal *Hedge* Ratio Estimation. In: Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting and Market Risk Management, 1., 1987. Chicago. **Anais...** Chicago, Apr. 1987.

NASTARI, P. **Avaliação e perspectivas do setor sucroenergético**. Brasília: Mapa, 2014. Disponível em: <

http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Acucar_e_alcool/26RO/App_Datagro_26RO_Alcool.pdf> Acesso em 24 mar. 2016.

NOGUEIRA, C. M. da S. Eficiência e Razão de *Hedge*: Uma análise dos mercados futuro brasileiros de boi, café, etanol, milho e soja. 63 p. **Dissertação** (Mestrado em Administração) — Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

NOGUEIRA, F. T. P.; AGUIAR, D. R. D.; LIMA, J. E. Efetividade do hedge no mercado brasileiro de café arábica. **Resenha BM&F**. n. 150, p. 78–88, 2002.

NOVACANA. *A produção de cana-de-açúcar no Brasil e no Mundo*. Disponível em: <<https://goo.gl/PfGcsw>> Acesso em: 04 jan. 2017.

OLIVEIRA, S. M. de. **Um modelo de decisão para produção e comercialização de produtos agrícolas diversificáveis**. 2012. 128p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

OLIVEIRA NETO, O. J. de. Evidências de efetividade do *cross hedging* para os novilhos argentinos e uruguaios no mercado futuro do boi gordo da BM&FBovespa In: Conferência em Gestão de Risco e Comercialização de Commodities, 4, 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: BM&FBovespa, 2014.

_____; FIGUEIREDO, R. S. Análise das operações de hedge do boi gordo no mercado futuro da BM&F para o Estado de Goiás. **Gestão e Planejamento**. v. 9, n. 1, p. 77–93, 2008.

_____; GARCIA, F. G.; MACHADO, W. B. Hedge Completo *versus* Hedge Ótimo: qual a melhor estratégia de cobertura de risco para o mercado de boi gordo mineiro e paulista? In: Conferência em Gestão de Risco e Comercialização de Commodities, 2, 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo: BM&FBovespa, 2012.

_____; MAIA, L. C. de C.; REZENDE, S. O. Risco de Base e *Cross Hedge*: Uma Revisão. In: Congresso UFU de Contabilidade, 1, 2015, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2015.

_____; FIGUEIREDO, R. S.; MAIA, L. C. C.; REZENDE, S. O. Comparação empírica da razão e efetividade de *hedge* pelos modelos de Myers & Thompson, auto-regressivo vetorial bivariado e vetorial de correção de erro. **Revista INGEPRO: Inovação, Gestão e Produção**. v. 02, p. 01-13, 2010.

PARK, H. Y.; BERA, A. K. Interest rate volatility, basis, and heterocedasticity in hedging mortgages. **The American Real Estate and Urban Economics Association**. v. 15, p. 79-97, 1987.

PAULILLO, L. F.; SOARES, S. S.; FELTRE, C.; MARQUES, D. S. P.; VIAN, C. E. de F. **As transformações e os desafios do encadeamento produtivo do etanol no Brasil**. In: SANTOS, G. R. dos (Org.). Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas. Brasília: Ipea, 2016. p. 187-224.

PHILLIPS, P. C. B.; PERRON, P. Testing for a unit root in time series regression. **Biometrika**, n. 75, p. 335-346, 1988.

RAABE, J. P.; STADUTO, J. A. R.; SHIKIDA, P. F. A. A efetividade de hedge do Mercado futuro de açúcar nos mercados de Nova York, Londres e da BM&F. **Revista de Economia e Administração**. v. 5, n. 3, p. 338-357, 2006.

RAMOS, P. **Trajetória e Situação Atual da Agroindústria Canavieira do Brasil e do Mercado de Álcool Carburante**. In: SANTOS, G. R. dos (Org.). Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas. Brasília: Ipea, 2016. p. 47-81.

REN. **Renewables 2012 Global Status Report**. REN 21 Secretariat. Paris, 2012, 172 p.

Disponível em: <

http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf>

Acesso em: 23 mar. 2016.

RODRIGUES, L. Políticas públicas e os determinantes da demanda por combustíveis leves no Brasil, 2003-2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2015.

RODRIGUES, M. A.; ALVES, A. F. Efetividade e Razão Ótima de Hedge: Um *Survey*. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 48, 2010, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SOBER, 2010.

_____; MARTINES FILHO, J. G. Eficiência adaptativa nos mercados futuros agropecuários brasileiros. **Revista Brasileira de Economia**. v. 70, n. 2, p. 245-267, abr/jun. 2016.

SANTIAGO, L. A.; MATTOS, L. B. de. Análise de operações de *cross hedge* para o mercado de açúcar cristal no Brasil. **Perspectiva Econômica**, v. 10, n. 2, julho-dezembro/2014.

SANTOS, G. R. dos; GARCIA, E. A.; SHIKIDA, P. F. A. A crise na produção do etanol e as interfaces com as políticas públicas. **Boletim Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, Ipea/Diset, n. 39, p. 27-38, jun. 2015.

_____; RISSARDI JÚNIOR, D. J. **A agroindústria canavieira e a produção de etanol no Brasil: características, potenciais e perfil da crise atual**. In: SANTOS, G. R. dos (Org.). Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas. Brasília: Ipea, 2016. p. 17-45.

SILVA, A. M. R. da. **As negociações de futuros de commodities afetam a volatilidade dos preços físicos?** Um estudo empírico para o Mercado brasileiro de Açúcar e etanol. 67 p. Dissertação (Mestrado em Economia e Finanças) – Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2013.

SILVA, A. R. O.; AGUIAR, D. R. D.; LIMA, J. E. A efetividade do hedge e do cross-hedge de contratos futuros para soja e derivados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. v. 41, n. 2, p. 383-406, 2003.

SILVA, M. V. de S. e; BACCHI, M. R. P. Competitividade internacional do açúcar brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 43, 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SOBER, 2005.

SILVEIRA, A. M. **A relação entre os preços de Açúcar nos mercados doméstico e internacional**. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SILVEIRA, R. L. F.; CRUZ JUNIOR, J. C. Efetividade e Razão Ótima de *Hedge* no Mercado Futuro de Café: Uma comparação entre diferentes métodos. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 48, 2010, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SOBER, 2010. p. 1–15.

_____; MACIEL, L.; BALLINI, R. Derivativos sobre *Commodities* influenciam a volatilidade dos preços à vista? Uma análise nos mercados de boi gordo e café arábica no Brasil. **RESR**. Piracicaba-SP, v. 52, n. 3, p. 417-436, jul./set. 2014.

SIMS, C. Macroeconomics and reality. **Econometrica**, v. 48, 1980.

SOSNOSKI, A. A. K. B.; RIBEIRO, C. de O. *Hedging* na produção de açúcar e álcool: uma integração de decisões financeiras e de produção. **Produção**, v. 22, n. 1, p. 115-123, jan./fev. 2012.

SOUZA, A. M. **Setor Sucroalcooleiro**: um estudo da relação entre o preço do Açúcar cristal e do álcool hidratado no estado de Alagoas. 67 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SOUZA, R. da S.; CUNHA, C. A.; WANDER, A. E. Efetividade e razão ótima de hedge para perações de boi gordo em Goiás. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 49, 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBER, 2011. p. 1–18.

SOUZA, W. A. da R. de. **Avaliação de estratégias de gerenciamento de risco de preços de café do Brasil com o uso de mercados futuros**. 2013. 143p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. 2013.

_____; BELLINGHINI, D. F.; MARTINES-FILHO, J. G.; MARQUES, P. V. A Eficiência de *Cross-hedge* do Risco de Preço de Frangos com o Uso de Contratos Futuros de Milho da BM&F-BOVESPA. **Sociedade, Contabilidade e Gestão**, Rio de Janeiro, v. 6, n. Especial, 2011.

_____; MARTINES-FILHO, J. G.; MARQUES, P. V. O Hedge Simultâneo dos Riscos de Preço e de Câmbio da Produção de Soja em Rondonópolis (MT), utilizando contratos da BOVESPA-BM&F. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 13, n. 3, p. 403-413, 2011.

STEIN, J.L. The simultaneous determination of spot and futures prices. **American Economic Review**, v. 51, p. 1012-1025, 1961.

TANAKA, Y. **Estimação da razão ótima de hedge para o dólar futuro usando um modelo MGARCH-BEKK diagonal**. 50 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Economia e Finanças) – Escola de Pós Graduação em Economia, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2005.

TOMASQUIM, M. T. Planejamento e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**. v. 26, n. 74, 2012.

TONIN, J. R.; PARRÉ, J. L.; TONIN, J. M. Análise de co-integração, efetividade e razão ótima de hedge para os mercados de etanol anidro brasileiro e norte-americano. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 52, 2014, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SOBER, 2014. p. 1–21.

_____; TONIN, J. M.; PAVAN, L. S. Assimetria na transmissão de preços do etanol hidratado Paulínia/SP ara o contrato BM&F: uma aplicação dos modelos TAR. In:

Conferência em Gestão de Risco e Comercialização de Commodities, 2, 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo: BM&FBovespa, 2012.

TSAY, R. S. **Analysis of Financial Time Series**. 3.ed. New Jersey: Wiley, 2010.

ÚNICADATA. **Área Plantada com cana-de-açúcar, 1980 - 2015**. Disponível em: <<http://goo.gl/iDLtm>> Acesso em 13 abr. 2016^a

_____. **Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol - safra 2014/2015**. Disponível em: <<http://goo.gl/L1mMzb>> Acesso em 13 abr. 2016^b

_____. **Detalhamento das exportações mensais de etanol pelo Brasil – safra 2016/2017**. Disponível em: <<http://goo.gl/1866Ak>> Acesso em 28 jun. 2016^c

_____. **Consumo de Combustíveis**. Disponível em: < <http://goo.gl/1RcRvA>> Acesso em 28 jun. 2016^d

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Centrifugal Sugar: Imports and Exports**. Disponível em: <<http://goo.gl/bl2XCB>> Acesso em 14 abr. 2016

VIAN, C. E. F.; LIMA, R. A. S.; ABDO, M. D. Estudos de casos sobre as estratégias administrativas e operacionais utilizadas pelas usinas de açúcar e álcool da região de Ribeirão Preto, SP. **A Economia em Revista**. v. 15, n. 1, p. 5-20, 2007.

WORKING, H. New concepts concerning futures markets and prices. **The American Economic Review**, v. 52, n. 3, 1962. p. 432-459

XAVIER, L. F. S.; BIGATON, A.; DANELON, A. F.; SILVA, H. J. T. da; MARQUES, P. V. Projeções de Custos e Rentabilidade do Setor Sucroenergético na Região Nordeste para a Safra 2015/16. **Revista iPecege**, v. 2, n. 1, p. 100-110, 2016.

APÊNDICE A - Estimação do Modelo GARCH-BEKK

Este apêndice busca apresentar as estimações dos modelos a partir da aplicação do modelo GARCH-BEKK, antes da estimação da razão ótima e da efetividade de *hedge*. Preliminarmente, foi realizado o teste ARCH-LM proposto por Engle (1982) para orientar a especificação dos modelos. Os resultados destacados na Tabela 20 indicam os resultados do teste.

Tabela 20 – Teste ARCH (36 defasagens)

Série	Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015		Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016	
	Estatística	<i>p</i> -valor	Estatística	<i>p</i> -valor
D_ET_SPOT	4950,99	0,00	1723,23	0,00
D_ET_FUT	5271,89	0,00	2002,45	0,00
D_AC_SPOT	5253,41	0,00	1803,57	0,00
D_AC_FUT	4171,54	0,00	1811,93	0,00

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*.

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

A hipótese nula do teste ARCH-LM é de não há presença de efeito ARCH entre as séries testadas. Conforme pode ser observado na Tabela 20, durante os períodos, rejeitou-se a hipótese nula sob um nível de significância de 1%, destacando a existência da volatilidade condicional entre as séries.

Logo, as estimativas de *hedge* através de um modelo multivariado, conforme destacado na estratégia empírica desta dissertação, será estimado através do modelo GARCH-BEKK (1,1) diagonal, uma especificação parcimoniosa em que $k = 1$ que elimina o problema de identificação decorrente de modelos em que $k > 1$, similar ao aplicado em Ferreira (2012). Para a presente dissertação foram estimados oito modelos bivariados seguindo a abordagem GARCH-BEKK, em que os quatro primeiros estimaram as possíveis relações entre as *commodities* nos mercados à vista e futuro no Período 1 (13/03/2013 a 24/09/2015) e no Período 2 (25/09/2015 a 10/10/2016).

Preliminarmente, os resultados desta pesquisa destacam a estimação das matrizes de variância e covariância dos modelos apresentados, junto com a representação matricial destes durante os dois períodos analisados. Cabe ressaltar que as estimações foram realizadas a partir de uma distribuição *t-student*, devido à presença de leptocurtose das séries, e que, em linhas

gerais, os elementos da matriz A representam a volatilidade a curto prazo (efeito ARCH) e os elementos da matriz B denotam a volatilidade a longo prazo da mesma forma (efeito GARCH).

A Tabela 21 destaca o modelo 1 nos dois períodos, buscando estimar o *hedge* dos preços do etanol hidratado à vista no CEPEA/ESALQ junto às cotações do contrato futuro do etanol hidratado negociado na BM&FBovespa nos dois períodos analisados nesta dissertação. Devido à presença de autocorrelação nas séries, identificada por meio do teste de Durbin-Watson, as equações da média foram ajustadas com a utilização de modelos ARMA para as equações das médias de cada série, com a finalidade de eliminá-la.

Tabela 21 – Estimações dos parâmetros do modelo GARCH-BEKK (1,1) Diagonal (D_ET_SPOT com D_ET_FUT)

Parâmetros	Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015			Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016		
	Estimativas	Erro-Padrão	<i>p</i> -valor	Estimativas	Erro-Padrão	<i>p</i> -valor
c_{11}	0.5699	0.0508	0,0000***	1.4134	0,0897	0,7455
c_{21}	0.4309	0.0373	0,0000***	1.0687	0,1086	0,9872
c_{22}	0.1231	0.0132	0,0000***	0.6266	0,0098	0,8745
a_{11}	0.9069	0.0470	0,0000***	0.9190	0.0546	0,0000***
a_{12}, a_{21}	0.0764	0.0488	0.1175	0.0891	0.0314	0.004**
a_{22}	0.9999	0.0471	0,0000***	0.9968	0.0643	0,0000***
b_{11}	0.0000	0.0072	0,9964	0.0000	0,0467	0,9870
b_{12}, b_{21}	0.0000	0.0066	0,9985	0.0000	0.0038	0,9987
b_{22}	0.0000	0,0065	0,9974	0.0000	0.0148	0,9987

Legenda: D_ET_SPOT: 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; D_ET_FUT: 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; D_AC_SPOT: 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; D_AC_FUT: 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*. **Significância:** ***: 0; **: 0.001; *: 0.01; (:): 0.05 (:): 0.1

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Em termos matriciais, os coeficientes do modelo no período 1 podem ser escritos conforme a Equação 26.

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \sigma_{11,t}^2 & \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{21,t}^2 & \sigma_{22,t}^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0.5699 & 0 \\ 0.4309 & 0.1231 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.5699 & 0 \\ 0.4309 & 0.1231 \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} 0.9069 & 0.0764 \\ 0.0764 & 0.9999 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{2,t-1}\varepsilon_{1,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.9069 & 0.0764 \\ 0.0764 & 0.9999 \end{bmatrix} \quad (26) \\
 &+ \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \sigma_{11,t-1}^2 & \sigma_{12,t-1}^2 \\ \sigma_{21,t-1}^2 & \sigma_{22,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Ademais, os coeficientes do modelo no período 2 podem ser representados matricialmente conforme a Equação (29):

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \sigma_{11,t}^2 & \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{21,t}^2 & \sigma_{22,t}^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1,4134 & 0 \\ 1,0687 & 0,6266 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} 1,4134 & 0 \\ 1,0687 & 0,6266 \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 0,9190 & 0,0891 \\ 0,0891 & 0,9968 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & & \varepsilon_{1,t-1} \varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{2,t-1} \varepsilon_{1,t-1} & & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,9190 & 0,0891 \\ 0,0891 & 0,9968 \end{bmatrix} \quad (27) \\
&+ \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} \sigma_{11,t-1}^2 & \sigma_{12,t-1}^2 \\ \sigma_{21,t-1}^2 & \sigma_{22,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

A próxima tabela destaca os resultados da estimação dos preços do açúcar brasileiro, base Santos/SP com as cotações do açúcar nº 11 na *ICE Futures* convertidas pela taxa PTAX.

Tabela 22 – Estimações dos parâmetros do modelo GARCH-BEKK (1,1) Diagonal (D_AC_SPOT com D_AC_FUT)

Parâmetros	Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015			Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016		
	Estimativas	Erro-Padrão	<i>p</i> -valor	Estimativas	Erro-Padrão	<i>p</i> -valor
c_{11}	0.0173	0.0039	0,0000***	0,0549	0,2897	0,0004
c_{21}	0.0152	0.0031	0,0000***	0,0488	0,3565	0,0067
c_{22}	0.0036	0.0010	0,0000***	0,0024	0,2765	0,0455
a_{11}	0.9067	0.0583	0,0000***	0,9794	0,2739	0,0089**
a_{12}, a_{21}	0.0401	0.0455	0.3789	0.0092	0.3255	0.9774
a_{22}	0.9999	0.0564	0,0000***	0,9999	0,2697	0,0073**
b_{11}	0.0000	0.0003	0.9977	0.0000	0,2111	0,8705
b_{12}, b_{21}	0.0000	0.0000	0.9987	0.3671	0.3364	0.2751
b_{22}	0.0000	0.0002	0.9965	0,2655	0,1291	0,0398

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*. **Significância:** ***: 0; **: 0.001; *: 0.01; (:): 0.05 (): 0.1

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

A Equação 28 destaca a representação matricial dos coeficientes encontrados a partir da estimação do segundo modelo desta dissertação, no período 1.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \sigma_{11,t}^2 & \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{21,t}^2 & \sigma_{22,t}^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0,0173 & 0 \\ 0,0152 & 0,0036 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} 0,0173 & 0 \\ 0,0152 & 0,0036 \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 0,9067 & 0,0401 \\ 0,0401 & 0,9999 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & & \varepsilon_{1,t-1} \varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{2,t-1} \varepsilon_{1,t-1} & & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,9067 & 0,0401 \\ 0,0401 & 0,9999 \end{bmatrix} \quad (28) \\
&+ \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} \sigma_{11,t-1}^2 & \sigma_{12,t-1}^2 \\ \sigma_{21,t-1}^2 & \sigma_{22,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Os resultados do período 2 podem ser representados através da Equação 29 abaixo.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \sigma_{11,t}^2 & \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{21,t}^2 & \sigma_{22,t}^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0,0549 & 0 \\ 0,0488 & 0,0024 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} 0,0549 & 0 \\ 0,0488 & 0,0024 \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 0,9794 & 0,0092 \\ 0,0092 & 0,9999 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{2,t-1}\varepsilon_{1,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,9794 & 0,0092 \\ 0,0092 & 0,9999 \end{bmatrix} \quad (29) \\
&+ \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,3671 \\ 0,3671 & 0,2655 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} \sigma_{11,t-1}^2 & \sigma_{12,t-1}^2 \\ \sigma_{21,t-1}^2 & \sigma_{22,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,3671 \\ 0,3671 & 0,2655 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

A Tabela 23 destaca os coeficientes da regressão entre dos preços do etanol hidratado à vista, com as cotações do açúcar nº 11 na *ICE Futures* convertidas pela taxa PTAX.

Tabela 23 – Estimações dos parâmetros do modelo GARCH-BEKK (1,1) Diagonal (D_ET_SPOT com D_AC_FUT)

Parâmetros	Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015			Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016		
	Estimativas	Erro-Padrão	<i>p</i> -valor	Estimativas	Erro-Padrão	<i>p</i> -valor
c_{11}	0.5699	0.1091	0,0000***	1,4134	0,2431	0,0000***
c_{21}	0.0058	0.0012	0,0000***	0,0335	0,0062	0,0000***
c_{22}	0.0150	0.0026	0,0000***	0,0356	0,0065	0,0000***
a_{11}	0.9694	0.0322	0,0000***	0,9732	0,0552	0,0000***
a_{12}, a_{21}	0.0001	0.0002	0,5513	0.5000	0.6935	0.4709
a_{22}	0.9837	0.0328	0,0000***	0,9741	0,0549	0,0000***
b_{11}	0.0000	0.0679	0,9978	0,0000	0,0656	0,0000***
b_{12}, b_{21}	0.0000	0.0145	0,9954	0.0001	0.2467	0.9996
b_{22}	0.0000	0.0231	0,9986	0,0000	0,0765	0,0000***

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*. **Significância:** ***: 0; **: 0.001; *: 0.01; (:): 0.05 (): 0.1

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

A representação matricial dos coeficientes do terceiro modelo durante o período 1 foram representados matricialmente conforme a Equação 30.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \sigma_{11,t}^2 & \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{21,t}^2 & \sigma_{22,t}^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0,5699 & 0 \\ 0,0058 & 0,0150 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} 0,5699 & 0 \\ 0,0058 & 0,0150 \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 0,9694 & 0,0001 \\ 0,0001 & 0,9837 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{2,t-1}\varepsilon_{1,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,9694 & 0,0001 \\ 0,0001 & 0,9837 \end{bmatrix} \quad (30) \\
&+ \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} \sigma_{11,t-1}^2 & \sigma_{12,t-1}^2 \\ \sigma_{21,t-1}^2 & \sigma_{22,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Os coeficientes deste modelo no período 2 podem ser escritos conforme a Equação 31.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \sigma_{11,t}^2 & \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{21,t}^2 & \sigma_{22,t}^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1,4134 & 0 \\ 0,0335 & 0,0356 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} 1,4134 & 0 \\ 0,0335 & 0,0356 \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 0,9732 & 0,6935 \\ 0,6935 & 0,9741 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{2,t-1}\varepsilon_{1,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,9732 & 0,6935 \\ 0,6935 & 0,9741 \end{bmatrix} \quad (31) \\
&+ \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0001 \\ 0,0001 & 0,0000 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} \sigma_{11,t-1}^2 & \sigma_{12,t-1}^2 \\ \sigma_{21,t-1}^2 & \sigma_{22,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0001 \\ 0,0001 & 0,0000 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Por fim, a Tabela 24 destaca os resultados da estimação entre os preços do açúcar brasileiro à vista e as cotações do etanol hidratado negociado na BM&FBovespa, em seu primeiro vencimento.

Tabela 24 – Estimações dos parâmetros do modelo GARCH-BEKK (1,1) Diagonal (D_AC_SPOT com D_ET_FUT)

Parâmetros	Período 1: 13/03/2013 a 24/09/2015			Período 2: 25/09/2015 a 10/10/2016		
	Estimativas	Erro-Padrão	p-valor	Estimativas	Erro-Padrão	p-valor
c_{11}	0,0546	0,2111	0,0069	0,0549	0,6756	0,7656
c_{21}	0,0988	0,3360	0,0876	1,0052	0,5589	0,7654
c_{22}	0,0167	0,1295	0,0455	0,7241	0,7895	0,9876
a_{11}	0,9677	0,2739	0,0089**	0,9360	0,0574	0,0000***
a_{12}, a_{21}	0,0134	0,5545	0,2876	0,0012	0,0014	0,3952
a_{22}	0,9999	0,9876	0,0087**	0,9923	0,0627	0,0000***
b_{11}	0,0001	0,7865	0,8705	0,0000	0,0050	0,9998
b_{12}, b_{21}	0,3766	0,3567	0,9996	0,0000	0,0000	0,9997
b_{22}	0,2899	0,1456	0,9994	0,0000	0,0052	0,9998

Legenda: **D_ET_SPOT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado *spot* Base Paulínia/SP CEPEA/ESALQ; **D_ET_FUT:** 1ª Diferença do Etanol hidratado futuro BM&FBovespa; **D_AC_SPOT:** 1ª Diferença do Açúcar *spot* Base São Paulo CEPEA/ESALQ; **D_AC_FUT:** 1ª Diferença do Açúcar nº 11 *ICE Futures*. **Significância:** ***: 0; **: 0.001; *: 0.01; (:): 0.05 (): 0.1

Fonte: Resultados da Pesquisa (2017)

Os coeficientes do último modelo no período 1 podem ser escritos em termos matriciais conforme a Equação 32.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \sigma_{11,t}^2 & \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{21,t}^2 & \sigma_{22,t}^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0,0546 & 0 \\ 0,0988 & 0,0167 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} 0,0546 & 0 \\ 0,0988 & 0,0167 \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} 0,9677 & 0,0134 \\ 0,0134 & 0,9999 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{2,t-1}\varepsilon_{1,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,9677 & 0,0134 \\ 0,0134 & 0,9999 \end{bmatrix} \quad (32) \\
&+ \begin{bmatrix} 0,0001 & 0,3766 \\ 0,3766 & 0,2899 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} \sigma_{11,t-1}^2 & \sigma_{12,t-1}^2 \\ \sigma_{21,t-1}^2 & \sigma_{22,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,0001 & 0,3766 \\ 0,3766 & 0,2899 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Por fim, a representação matricial do último modelo desta pesquisa no segundo período é representada na Equação 33.

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \sigma_{11,t}^2 & \sigma_{12,t}^2 \\ \sigma_{21,t}^2 & \sigma_{22,t}^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0,0549 & 0 \\ 1,0052 & 0,7241 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} 0,0549 & 0 \\ 1,0052 & 0,7241 \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} 0,9360 & 0,0012 \\ 0,0012 & 0,9923 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1} \varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{2,t-1} \varepsilon_{1,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,9360 & 0,0012 \\ 0,0012 & 0,9923 \end{bmatrix} \quad (33) \\
 &+ \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}, * \begin{bmatrix} \sigma_{11,t-1}^2 & \sigma_{12,t-1}^2 \\ \sigma_{21,t-1}^2 & \sigma_{22,t-1}^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

ANEXO A – Modelos estáticos tradicionais aplicados para razão ótima e efetividade do *hedge*

Métodos	Sistemas de Equações	Razão de <i>hedge</i> (<i>h</i>)	Efetividade do <i>hedge</i> (<i>e</i>)
MQO	Não se aplica	$\Delta S = \alpha + \beta \Delta F + u_t$ <p>Em que: α é uma constante da regressão, ΔS e ΔF são as variações dos preços à vista e futuros durante o <i>hedge</i> e, β, a razão de <i>hedge</i> ótima.</p>	$e = \frac{\sigma_{sf}^2}{\sigma_s^2 \sigma_f^2} = \rho^2$ <p>Em que: ρ^2 é o coeficiente de determinação R^2, entre a variância dos preços à vista σ_s^2 e a variância dos preços futuros σ_f^2.</p>
VAR	$\begin{cases} \Delta S_t = c_s + \sum_{i=1}^k \beta_{si} \Delta S_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{fi} \Delta F_{t-i} + \mu_{st} \\ \Delta F_t = c_f + \sum_{i=1}^k \beta_{fi} \Delta S_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{fi} \Delta F_{t-i} + \mu_{ft} \end{cases}$	$h = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_{ff}}$ <p>Em que: σ_{sf} é a covariância entre os preços à vista e futuros, σ_{ff} é a variância dos preços futuros e h é a razão de <i>hedge</i> ótima.</p>	$e = \frac{\sigma_u^2 - \sigma_h^2}{\sigma_u^2}$ <p>Em que: e representa a efetividade de <i>hedge</i>, σ_u^2 é a variância da carteira não protegida e σ_h^2 é a variância da carteira protegida.</p>
VEC	$\begin{cases} \Delta S_t = c_s + \sum_{i=1}^k \beta_{si} \Delta S_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{fi} \Delta F_{t-i} + \gamma_s Z_{t-1} + \mu_{st} \\ \Delta F_t = c_f + \sum_{i=1}^k \beta_{fi} \Delta S_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{fi} \Delta F_{t-i} - \gamma_f Z_{t-1} + \mu_{ft} \end{cases}$	$h = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_{ff}}$ <p>Em que: σ_{sf} é a covariância entre os preços à vista e futuros, σ_{ff} é a variância dos preços futuros e h é a razão de <i>hedge</i> ótima.</p>	<p>Em que: e representa a efetividade de <i>hedge</i>, σ_u^2 é a variância da carteira não protegida e σ_h^2 é a variância da carteira protegida.</p>

Legenda: MQO: Modelo de Mínimos Quadrados Ordinários ou Modelo de Variância Mínima de Ederington (1979); GMT: Modelo Generalizado de Myers e Thompson (1987); VAR: Modelo Vetorial Autorregressivo de Sims (1980) e; VEC: Modelo Vetorial Autorregressivo com inclusão de Mecanismo de Correção de Erro de Lien e Luo (1994).
 Fonte: Adaptado de Oliveira Neto, Garcia e Machado (2012)

ANEXO B – Contrato Futuro de Etanol Hidratado da BM&FBovespa



Contrato Futuro de Etanol Hidratado com Liquidação Financeira – Especificações –

1. Definições

Contrato (especificações): termos e regras sob os quais as operações serão realizadas e liquidadas.
Preço de ajuste (PA): preço de fechamento, expresso em reais por metro cúbico de etanol hidratado, apurado e/ou arbitrado diariamente pela BM&FBovespa, a seu critério, para cada um dos vencimentos autorizados, para efeito de atualização do valor das posições em aberto e de apuração do valor de ajustes diários e de liquidação das operações *day trade*.

Taxa de câmbio referencial: taxa de câmbio de reais por dólar dos Estados Unidos da América descrita no Anexo III do Ofício Circular 058/2002-DG, de 19 de abril de 2002.

PTAX: taxa de câmbio de reais por dólar dos Estados Unidos, cotação de venda, divulgada pelo Banco Central do Brasil (Bacen), por intermédio do Sisbacen, transação PTAX800, opção "5", cotação de fechamento, para liquidação em dois dias, a ser utilizada com, no máximo, sete casas decimais, relativa ao último dia do mês anterior ao da operação.

Dia útil: dia em que ocorre pregão na BM&FBovespa.

2. Objeto de negociação

Etanol Hidratado Combustível, segundo as especificações da Agência Nacional de Petróleo (ANP).

3. Cotação

Reais por metro cúbico (1.000 litros) de etanol hidratado, conforme as especificações definidas no item 2, com duas casas decimais, livres de ICMS, PIS/COFINS.

4. Variação mínima de apregoação

R\$0,50 (cinquenta centavos) por metro cúbico.

5. Oscilação máxima diária

Conforme estabelecida pela BM&FBovespa.

Para o primeiro vencimento em aberto, o limite de oscilação será suspenso nos três últimos dias de negociação. A BM&FBovespa poderá alterar o limite de oscilação de preços de qualquer vencimento a qualquer tempo, mesmo no decurso do pregão, mediante comunicado ao mercado com 30 minutos de antecedência.

6. Unidade de negociação

30 metros cúbicos (30.000 litros).

7. Meses de vencimento

Todos os meses.

8. Número de vencimentos em aberto

Conforme autorização da BM&FBovespa.

9. Data de vencimento e último dia de negociação

Último dia útil do mês de vencimento do contrato.

10. Dia útil

Considera-se dia útil, para efeito deste contrato, o dia em que há pregão na BM&FBovespa.

Para efeito de liquidação financeira e de atendimento a chamadas de margem, a que se referem os itens 11, 12, 13.1 e 18.2, considerar-se-á dia útil o dia que, além de haver pregão na BM&FBovespa, não for feriado bancário na praça de Nova Iorque, Estados Unidos da América.

11. Day trade

São admitidas operações *day trade* (compra e venda, no mesmo dia de pregão, da mesma quantidade de contratos para o mesmo vencimento), que se liquidarão automaticamente, desde que realizadas em nome do mesmo cliente, por intermédio da mesma corretora e sob a responsabilidade do mesmo Membro de Compensação, ou realizadas pelo mesmo Operador Especial, sob a responsabilidade do mesmo Membro de Compensação. A liquidação financeira dessas operações será realizada no dia útil subsequente, sendo os valores apurados de acordo com o item 12(a), observado, no que couber, o disposto no item 19.

12. Ajuste diário

As posições em aberto, ao final de cada pregão, serão ajustadas com base no preço de ajuste do dia, determinado segundo regras estabelecidas pela Bolsa, com movimentação financeira no dia útil subsequente, observado, no que couber, o disposto no item 19.

O ajuste diário das posições em aberto será realizado até a data de vencimento do contrato, de acordo com

ANEXO B – Contrato Futuro de Etanol Hidratado da BM&FBovespa (Continuação)



as seguintes fórmulas:

a) ajuste das posições realizadas no dia

$$AD_t = (PA_t - PO) \times 30 \times n \quad (1)$$

b) ajuste das posições em aberto no dia anterior

$$AD_t = (PA_t - PA_{t-1}) \times 30 \times n \quad (2)$$

onde:

AD_t = valor do ajuste diário, em reais, referente à data "t";

PA_t = preço de ajuste, em reais, na data "t", para o vencimento respectivo;

PO = preço da operação, em reais;

n = número de contratos;

PA_{t-1} = preço de ajuste do dia útil anterior à data "t", em reais, para o vencimento respectivo.

O valor do ajuste diário (AD_t), calculado conforme demonstrado acima, se positivo, será creditado ao cliente-comprador e debitado ao cliente-vendedor. Caso o cálculo apresente valor negativo, será debitado ao cliente-comprador e creditado ao cliente-vendedor.

13. Liquidação no vencimento

As posições que não forem encerradas em pregão até o último dia de negociação, mediante a realização de operações de natureza (compra ou venda) inversa, serão liquidadas no vencimento por um índice de preços, conforme item abaixo.

13.1 Liquidação por índice de preços

As posições em aberto, após o encerramento do pregão do último dia de negociação serão liquidadas pela BM&FBovespa na data de vencimento, mediante o registro de operação de natureza (compra ou venda) inversa à da posição, na mesma quantidade de contratos, pelo preço calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$PO_t = \frac{\sum_{i=d-4}^d \text{IHIDRATADO}_i}{5}$$

onde:

PO_t = preço da operação relativa à liquidação por índice de preços, expresso em reais por metro cúbico;

IHIDRATADO_i = Indicador de Preço Disponível do Etanol Hidratado BM&FBovespa, para a região de Paulínia (SP), expresso em reais por metro cúbico, apurado por instituição renomada em coleta de preços, definida em Ofício Circular, e divulgado no site da Bolsa;

$d - 4$ = quarto dia útil anterior ao último dia de negociação;

d = data de vencimento do contrato e último dia de negociação.

Os valores relativos à liquidação da posição por índice de preços serão liquidados financeiramente no dia útil subsequente ao último dia de negociação, observado, no que couber, o disposto no [item 19](#).

14. Operações *ex-pit*

Serão permitidas operações *ex-pit*, até o último dia de negociação, desde que atendidas as condições estabelecidas pela BM&FBovespa. Essas operações serão divulgadas pela Bolsa, mas não serão submetidas à interferência do mercado.

15. Hedgers

Agente operador de etanol, usinas produtoras, cooperativas de produtores, empresa comercializadora de etanol, distribuidoras de combustíveis, exportadores, importadores e indústrias de insumo.

16. Margem de garantia

Será exigida margem de garantia de todos os comitentes com posição em aberto, cujo valor será atualizado diariamente pela Bolsa, de acordo com os critérios de apuração de margem para contratos futuros.

A conversão dos valores de margem, quando necessária, será realizada observando-se, no que couber, o disposto no [item 19](#).

17. Ativos aceitos como margem

Aqueles aceitos pela Bolsa.

18. Custos operacionais

18.1 Taxas da Bolsa

Taxas de emolumentos, de registro e de permanência, apuradas conforme cálculo estabelecido pela Bolsa.

ANEXO B – Contrato Futuro de Etanol Hidratado da BM&FBovespa (Continuação)



- 18.2 Datas de pagamento**
18.2.1 As taxas de emolumentos e de registro são devidas no dia útil seguinte ao da operação, observado, no que couber, o disposto no item 19.
18.2.2 A taxa de permanência é devida na data determinada pela Bolsa.
- 19. Forma de pagamento e recebimento dos valores relativos à liquidação financeira e à conversão dos valores de margem de garantia e dos custos operacionais**
A liquidação financeira das operações day trade, dos ajustes diários no vencimento e dos custos operacionais, bem como a conversão dos valores de margem de garantia, será realizada conforme determinado a seguir.
- 19.1 Clientes residentes**
Em reais, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Derivativos da BM&FBovespa.
- 19.2 Clientes não residentes**
Em dólares dos Estados Unidos da América, na praça de Nova Iorque, Estados Unidos da América, por meio das instituições liquidantes das operações da BM&FBovespa no Exterior, por ela indicados.
A conversão dos valores financeiros, quando for o caso, será feita pela taxa de câmbio referencial BM&FBovespa, definida no item 1, relativa à data específica, conforme a natureza do valor a ser liquidado, a saber:
- a) na liquidação de operações *day trade*: a taxa de câmbio referencial BM&FBovespa do dia da operação;
 - b) na liquidação de ajuste diário: a taxa de câmbio referencial BM&FBovespa do dia a que o ajuste se refere;
 - c) na conversão dos valores de margem de garantia depositados em dólares dos Estados Unidos da América: a taxa de câmbio referencial BM&FBovespa do dia da operação.
- Já a conversão dos valores relacionados aos custos operacionais, quando for o caso, será feita pela PTAX, definida no item 1.
- 20. Normas complementares**
Fazem parte integrante deste contrato, no que couber, a legislação em vigor, as normas e os procedimentos da BM&FBovespa, definidos em seus Estatuto Social, Regulamento de Operações e Ofícios Circulares, observadas, adicionalmente, as regras específicas das autoridades governamentais que possam afetar os termos nele contidos.

ANEXO C – Contrato Futuro do Açúcar nº 11 da *ICE Futures*

ICE Futures U.S.
Jan 16, 2017

ICE FUTURES U.S.

Sugar No. 11 Futures

Contract Specifications

Description	The Sugar No. 11 contract is the world benchmark contract for raw sugar trading. The contract prices the physical delivery of raw cane sugar, free-on-board the receiver's vessel to a port within the country of origin of the sugar.
Contract Symbol	SB
Contract Size	112,000 pounds
Price Quotation	Cents and hundredths of a cent per pound to two decimal places
Contract Listing	March, May, July and October
Minimum Price Movement	1/100 cent/lb., equivalent to \$11.20 per contract.
Settlement	Physical delivery, FOB receiver's vessel
Grade/Standards/Quality	Raw centrifugal cane sugar based on 96 degrees average polarization.
Daily Price Limit	None
Deliverable Growths	<p>Growths of Argentina, Australia, Barbados, Belize, Brazil, Colombia, Costa Rica, Dominican Republic, El Salvador, Ecuador, Fiji Islands, *French Antilles, Guatemala, Honduras, India, Jamaica, Malawi, Mauritius, Mexico, Mozambique, Nicaragua, Peru, Republic of the Philippines, South Africa, Swaziland, Taiwan, Thailand, Trinidad, United States, and Zimbabwe.</p> <p>*French Antilles will not be a deliverable origin commencing with the July 2016 expiry.</p>

ANEXO C – Contrato Futuro do Açúcar nº 11 da *ICE Futures* (Continuação)

Contract Specifications

Delivery Points	A port in the country of origin or in the case of landlocked countries, at a berth or anchorage in the customary port of export.
First Notice Day	First business day after last trading day.
Last Notice Day	First business day after last trading day.
Last Trading Day	Last business day of the month preceding the delivery month
Position Limits	Position Limit and Position Accountability information for all IFUS products can be found here .