

Análise de operações de *cross hedge* para o mercado de açúcar cristal no Brasil

Analysis of cross hedge for the Brazilian sugar market

Letícia Alves Santiago¹

Universidade Federal de Viçosa, Brasil
leticiaalvests@hotmail.com

Leonardo Bornacki de Mattos¹

Universidade Federal de Viçosa, Brasil
lbmattos@ufv.br

Resumo. O objetivo deste estudo é avaliar se operações de *cross hedge* com contratos futuros de etanol hidratado brasileiro e etanol anidro americano seriam uma ferramenta eficiente contra movimentos indesejáveis nos preços do açúcar cristal, dada a ausência de um contrato futuro para os produtores de açúcar cristal no período de 2010-2012. Foram construídas quatro séries semanais para a estimação da razão ótima e da efetividade do *cross hedge*. Através da matriz de variâncias e covariâncias obtidas com a estimação dos modelos VAR (Vetor Autorregressivo), obteve-se a razão ótima e a efetividade da operação de *cross hedge*. A razão ótima do *cross hedge* entre futuro de etanol hidratado brasileiro e açúcar cristal foi de aproximadamente 2%, mas a operação não se mostrou efetiva. Já para o *cross hedge* entre etanol anidro americano e açúcar cristal brasileiro, a razão ótima foi de aproximadamente 19%, e a efetividade dessa operação foi de 2%, mostrando ser um tanto mais efetiva, mas não sendo suficiente para proteger os agentes do mercado físico de açúcar cristal brasileiro.

Palavras-chave: *cross hedge* com etanol hidratado brasileiro e anidro americano, mercado à vista de açúcar cristal, efetividade.

Abstract. The aim of this study is to evaluate whether cross hedging with futures contracts of Brazilian hydrous and anhydrous ethanol American would be an effective tool against unwanted movements in the prices of sugar, given the absence of a future contract for producers of crystal sugar in the period 2010-2012. Four weekly series were built for the estimation of the optimum ratio and effectiveness of cross hedge. Through the variances and covariances obtained with the estimation of VAR (Vector Autoregressive) model matrix, we obtained the optimum ratio and the effectiveness of the operation of cross hedge. The optimal ratio between the cross hedge future of Brazilian hydrated ethanol and sugar was approximately 2%, but the operation was not effective. As for the cross hedge between American anhydrous ethanol and Brazilian sugar crystal, the optimal ratio was approximately 19%, and the effectiveness of the operation was of 2%, showing to be somewhat more effective, but it is not enough to protect the agents from the physical market of Brazilian sugar crystal.

Keywords: cross hedging with Brazilian hydrous and anhydrous American ethanol, spot market of crystal sugar, effectiveness.

¹ Universidade Federal de Viçosa. Campus de Viçosa. Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900, Viçosa, MG, Brasil.

1 Introdução

O Brasil é um país que possui características que possibilitaram a sustentação do sucesso da produção de cana-de-açúcar no país até os dias atuais. De acordo com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2012) o Brasil, em 2012, foi considerado o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, o equivalente a mais de 490 milhões de toneladas por ano (safra 2011/2012). Foi também considerado o maior produtor mundial de açúcar, em que 25% da produção e 50% das exportações mundiais foram brasileiras, e o segundo maior fabricante mundial de etanol, sendo responsável por 20% da produção e por 20% das exportações mundiais.

A produção de cana-de-açúcar se concentra nas regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil, sendo que aproximadamente 88% da cana-de-açúcar e do açúcar nacional são produzidos na região Centro-Sul (2012). O que se observou foi que houve uma queda de aproximadamente 9,82% na safra de 2011/2012 de cana-de-açúcar, comparada a safra de 2010/2011, representada pela região Centro-Sul, e isso consequentemente afetou a produção de açúcar, que também registrou uma queda de 6,55%. Uma das causas da diminuição da colheita foi a falta de chuvas nesse período.

Porém, essa queda na produção não foi acompanhada pela alta nos preços do produto no mercado à vista, dada a diminuição da oferta. O indicador dos preços do mercado físico de açúcar cristal para São Paulo, cotados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2013), oscilou entre os níveis de R\$40 e R\$60 a saca, que, se comparados aos preços referentes a 2011, no qual a safra de cana e a produção de açúcar foram maiores, registraram queda, e não alta nos preços. A fraca demanda e a crescente produção mundial por açúcar por parte de outros países podem ter gerado um excedente de produção, que, por sua vez, pode ter sido uma das causas para que os preços do açúcar no mercado *spot* brasileiro não tenham sofrido o aumento aguardado.

Os principais participantes da cadeia sucroalcooleira são os produtores de insumo, produtores de cana-de-açúcar, usineiros e indústrias, que, igualmente a diversas atividades e setores da economia, ficam expostos a riscos, principalmente os relacionados a variações nos preços. Sendo assim, o uso de ferramentas para minimizar o risco de preço presente nessa

atividade se torna de fundamental importância para o bom funcionamento dessa cadeia produtiva. A operação de *hedge* via compra ou venda de contratos futuros, tem por finalidade proteger os agentes de variações indesejáveis no preço do ativo negociado, operação esta que pode ser uma alternativa eficaz para minimizar eventuais perdas.

Os preços nos mercados à vista e futuro tendem a ter um sentido comum, ou seja, caminharem lado a lado, sendo que qualquer perda sofrida em um mercado, devido a mudanças imprevistas no preço, seja compensada pelo ganho no outro mercado. A diferença existente entre os preços futuro e à vista é denominada base, e nela estão embutidos custos de transporte, condições locais de oferta e demanda, estrutura de mercado, custos de estocagem e impostos (Marques e Melo, 1999). Ao fazer um *hedging* o agente troca o risco de preço pelo risco de base, que tende a ser menor que o risco de preço, tanto pela possibilidade que o *hedger* tem de diluir o prejuízo, através dos ajustes diários, quanto pelo fato de este agente estar assegurado, pelo contrato futuro firmado, com um preço que julga ser satisfatório.

Em 1995, a BM&FBOVESPA (Bolsa de Mercadorias e Futuros) lançou o contrato futuro de açúcar cristal, que foi desativado em 20/08/2009. Entretanto, a partir de 23/01/2013, foram retomadas as negociações do contrato desta *commodity*. Então, dada a ausência de um contrato futuro nacional ativo para os agentes da cadeia produtiva do açúcar cristal no período de 20/08/2009 a 23/01/2013, o presente estudo anseia analisar se quando uma operação de *cross hedge* fosse realizada, fazendo uso do contrato futuro de etanol hidratado brasileiro ou do etanol anidro americano, se ela seria efetiva na proteção contra os riscos de preço a que os agentes da cadeia produtiva do açúcar cristal estariam expostos. Dada a relação existente entre esses três derivados da cana-de-açúcar, espera-se que essa operação seja efetiva. Para esta análise, será utilizado o modelo VAR (Vetor Autoregressivo), com o intuito de se estimar a razão ótima, ou seja, o número de contratos a ser negociados no mercado futuro e, posteriormente, encontrar a efetividade da operação de *cross hedge*.

2 O setor sucroalcooleiro brasileiro

A agroindústria canavieira tem papel importante na história do Brasil. A cana-de-açúcar foi uma das primeiras culturas a serem explora-

das no país, sendo que, inicialmente, sua estrutura produtiva era praticamente toda voltada para a produção de açúcar.

Depois de vários ciclos que marcaram a ascendência e a descendência dessa cultura no Brasil, atualmente o país é considerado um dos maiores produtores e exportadores dos principais derivados da cana-de-açúcar. De acordo com um estudo sobre o setor sucroalcooleiro brasileiro, publicado em 2008 pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2013), existem três principais fatores que diferenciam a produção de cana-de-açúcar brasileira dos demais produtores mundiais dessa cultura, e que possivelmente contribuíram com a manutenção da hegemonia brasileira no mercado mundial desse bem.

O primeiro desses fatores diz respeito ao fato de a maioria das indústrias produzir grande parte da cana que processa. Isso é possível diante da enorme quantidade de terras existente no Brasil, que, além de férteis, são aptas à produção da cultura. O segundo fator diz respeito a ações voltadas para a produção do açúcar e do etanol anidro e hidratado. A maior parte de sua produção é originária de indústrias que são equipadas para a fabricação de ambos. Essa característica se estabeleceu a partir da década de 1970, em decorrência de políticas que possibilitaram a criação de programas inovadores e independentes de produção. Diante disso, os produtores de cana tiveram a oportunidade de direcionar a produção para o produto que apresentasse os melhores sinais de mercado, sendo essa característica de grande relevância para explicar a relação comercial existente entre o açúcar e o etanol.

A terceira e última característica está relacionada à distribuição espacial das unidades de produção brasileira. O clima favorável ao cultivo da cana-de-açúcar favorece a produção em grande escala na maior parte das lavouras espalhadas pelo país. Como consequência da distribuição das unidades produtivas e da combinação de diferentes períodos de colheita da cana, entre, principalmente, a região Centro-Sul e Norte-Nordeste, o país mantém, com diferentes intensidades, a produção de açúcar e álcool por praticamente todos os meses do ano.

De acordo com Alves e Lima (2010), o setor sucroalcooleiro no Brasil também é caracterizado pela forte intervenção estatal que durou até o final da década de 1990. A criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), em 1933, é um exemplo disso. Esse órgão tinha a responsabilidade de administrar e propiciar o desenvolvi-

mento do setor sucroalcooleiro, além de estabelecer as quotas de produção e preços para a cana-de-açúcar, açúcar e álcool. Após a extinção do IAA, em 1990, o setor passou a ser conduzido pelas forças de mercado.

Segundo Santos *et al.* (2007), depois do ano 2000, houve uma série de eventos favoráveis ao desempenho do setor sucroalcooleiro brasileiro, dentre eles o início da comercialização do carro *flex*, em 2003. Isso contribuiu com o aumento das vendas de etanol hidratado, pois o número de carros *flex* vendidos aumentou.

Diante da importância do etanol para a matriz energética brasileira, e para o mercado de combustíveis em geral, a BM&FBOVESPA deu início, em 17 de maio de 2010, às negociações do contrato de etanol hidratado com liquidação financeira, o que ampliou as opções de diversificação do portfólio dos agentes participantes do mercado sucroalcooleiro e disponibilizou uma ferramenta a mais de proteção contra as oscilações nos preços.

Desde então, o volume de contatos aumentou de 7.642, no terceiro trimestre de 2010, para 25.957 contratos no segundo trimestre de 2011. Segundo Tonin *et al.* (2012), pode-se concluir que o crescimento do volume negociado desse contrato está ligado à introdução de uma nova ferramenta de *hedge*. Mas, após o período de adaptação dos agentes participantes, o volume de negócios no mercado futuro tende a estabilizar em uma média, acompanhando o desempenho encontrado no mercado *spot*. Ainda segundo os autores, tais resultados demonstram que os mercados físicos e futuros estão cointegrados no longo prazo, e que o desempenho do mercado futuro está diretamente ligado ao desempenho no mercado *spot*, e vice-versa.

Contudo, pode-se concluir que a produção e, conseqüentemente, o preço do açúcar são diretamente influenciados pelo desempenho do mercado de etanol, sendo essa relação mútua, e que o mercado futuro de etanol hidratado está diretamente relacionado ao mercado *spot* desse produto. Logo, acredita-se que, ao fazer um *cross hedge* para o açúcar cristal com contratos futuros de etanol hidratado, o agente participante da cadeia produtiva sucroalcooleira irá conseguir se proteger de desajustes nos preços que não sejam favoráveis ao seu negócio.

Entretanto, faz-se também necessária uma análise que contemple o mercado internacional sucroalcooleiro, dada sua importância para a dinâmica do mercado interno. Para verificar se a transmissão de risco de preço, entre diferentes mercados e produtos será efetiva, também

será testado o *cross hedge* com contratos futuros de etanol anidro americano. O etanol anidro, assim como o etanol hidratado e o açúcar cristal, é um derivado da cana-de-açúcar. Esse tipo de etanol é utilizado no Brasil na mistura com a gasolina – cerca de 25% da mistura é etanol anidro. A produção de etanol na última safra, 2013/2014, atingiu níveis recordes e possibilitou a diminuição das importações de gasolina pela Petrobrás (UNICA, 2013).

3 Referencial teórico

3.1 Teoria do portfólio

A operação de *hedge* é a principal estratégia de proteção contra situações adversas de preços no mercado futuro, na qual o *hedger* – agente do mercado físico – realiza no mercado futuro operação de natureza contrária àquela do mercado físico. Quanto mais correlacionados forem os preços físicos e futuros, maior a efetividade do *hedge*, ou seja, maior a probabilidade de que a perda de um mercado seja compensada, total ou parcialmente, pelo ganho no outro mercado. A cobertura de risco é perfeita se a compensação for total, o que corresponde a um portfólio coberto com risco nulo. A variável de decisão é o número de contratos a transacionar, ou razão de cobertura, que não é mais do que a posição relativa no mercado de futuros. Em termos conceituais, é a razão ótima de *hedge*, ou seja, a parcela do valor da comercialização no mercado físico (à vista) que deve ser negociada no mercado futuro, visando à minimização da variância da receita (Hull, 2003).

No que se refere ao conceito de risco, segundo Van Horne (1998), este está ligado ao desvio do retorno efetivo do investimento em relação ao retorno esperado. Quanto maior a magnitude do desvio e maior a probabilidade de sua ocorrência, mais arriscada será considerada aquela ação. Na operação de *hedge* em que o *hedger* é avesso ao risco, o objetivo é minimizar o risco de variação de receita advinda de mudanças desfavoráveis nos preços. De acordo com Brealey e Myers (1995), uma forma de medir a dispersão dos resultados possíveis é o desvio-padrão ou a variância da receita.

Considere a receita do *hedger* como:

$$R_h = V(p_t' - p_{t-1}) - F(f_t' - f_{t-1}) \quad (1)$$

em que R_h é a receita do portfólio, e F e V as posições tomadas nos mercados futuro e físico, respectivamente. Desse modo, em um

hedge de venda, p_t' é o preço de compra no mercado *spot* no tempo t e p_{t-1}' , o preço de venda no mercado físico no tempo $t-1$. Já f_t' é a cotação de venda de contrato futuro no tempo t com vencimento em data futura. No período $t-1$, o *hedger* encerra sua posição no mercado futuro, comprando contrato futuro de cotação f_{t-1} com vencimento em uma determinada data consecutiva.

Para se obter a razão ótima, multiplicam-se ambos os lados de (1) por V , obtendo-se:

$$\frac{R_h}{V} = (p_t' - p_{t-1}') - \frac{F}{V}(f_t' - f_{t-1}') \quad (2)$$

em que $h = F/V$ é a razão de *hedge*.

A variância da receita da operação de *hedge* é representada por:

$$\sigma_h^2 = \sigma_p^2 - 2h\sigma_{pf} + h^2\sigma_f^2 \quad (3)$$

cuja diferenciação com relação à h (razão de *hedge*) resulta na razão ótima de *hedge*:

$$h^* = \frac{\sigma_{pf}}{\sigma_f^2} \quad (4)$$

na qual σ_{pf} é a covariância entre as mudanças no preço do mercado físico e do preço futuro e σ_f^2 é a variância da mudança no preço futuro. A expressão (4) mostra que a razão ótima de *hedge* (h^*) está diretamente relacionada à covariância dos preços futuro e à vista, e inversamente relacionada à variância dos preços futuros.

Já a efetividade do *hedge* é a proporção da variância de receita, que pode ser eliminada através do portfólio a partir de h^* , cujo cálculo é representado por:

$$Efetividade (E) = 1 - \frac{\text{var}(h^*)}{\text{var}(p)} \quad (5)$$

em que $\text{var}(h^*)$ representa a variância da receita de portfólio com a razão ótima de *hedge*, e $\text{var}(p)$ é a variância da receita do portfólio sem *hedge*. Desse modo, observa-se que, se $\text{var}(h^*) = \text{var}(p)$, o valor da efetividade é nulo. Mas se $\text{var}(h^*) = 0$, obtém-se o nível máximo de efetividade com a operação de *hedge* que é igual a 1, de modo que $[0 \leq \text{efetividade} \leq 1]$.

Dado que a variância sem *hedge*– $\text{var}(p)$ – depende do comportamento dos preços à vista, a variância do *hedge* ótimo equivale a:

$$\text{var}(h^*) = \sigma_p^2 - \left(\frac{\sigma_{pf}}{\sigma_f}\right)^2 \quad (6)$$

e a medida de efetividade do *hedge* pode ser definida como:

$$Efetividade(E) = 1 - \sigma_p^2 (1 - \rho^2) / \sigma_p^2 = \rho^2 \quad (7)$$

que mostra que a efetividade do *hedge*, a partir da razão ótima de *hedge* (h^*), é o quadrado do coeficiente de correlação entre as alterações nos preços à vista e futuro, permanecendo, portanto, a condição de que $[0 \leq \text{efetividade} \leq 1]$.

4 Metodologia

4.1 Estacionariedade

Ao se trabalhar com séries temporais em economia, uma das preocupações é a de verificar se elas são um processo estocástico estacionário, ou seja, se os seus três momentos (média, variância e covariância) da distribuição de probabilidade são constantes ao longo do tempo. Essa é uma exigência para séries temporais fortemente estacionárias. Já para séries fracamente estacionárias, as mais utilizadas, apenas os dois primeiros momentos devem ser constantes, sendo que o fato de as séries serem estacionárias é importante para evitar regressões espúrias ou sem sentido.

Se a série temporal não atender as condições de estacionariedade, ela será uma série não estacionária, ou terá uma raiz unitária $I(1)$ – isso implica que sua média, sua variância ou ambas variam com o tempo.

Para testar se as séries temporais utilizadas no modelo a ser estimado têm raiz unitária, será usado o Teste de Raiz Unitária de Dickey e Fuller Aumentado (DFA), que é uma extensão do teste de Dickey e Fuller com a inclusão dos valores defasados da variável dependente ΔY_t . O teste tem por hipótese nula a presença de raiz unitária. Dado que um processo de passeio aleatório pode ter ou não deslocamento, ou, ainda, ter tanto tendências determinísticas quanto estocásticas. O teste propõe o uso de três equações:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \mu_t \quad (8)$$

$$\Delta Y_t = \alpha + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \mu_t \quad (9)$$

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \mu_t \quad (10)$$

em $\delta = (\rho - 1)$, Δ é o operador de primeira diferença, $\Delta Y_{t-1} = (Y_{t-1} - Y_{t-2})$, $\Delta Y_{t-2} = (Y_{t-2} - Y_{t-3})$, e assim por diante, βt é a variável tendência, α é o intercepto, e μ_t é um termo de ruído branco. A equação (8) é sem intercepto e sem tendência, apenas as primeiras diferenças, na (9) é

apenas o intercepto (α) e sem tendência, e, na (10), foram incorporados os termos determinísticos, intercepto e tendência (t). Nas duas primeiras equações, (8) e (9), usa-se o teste t (*Student*) do coeficiente $\hat{\delta}$, de Y_{t-1} estimado, que segue a estatística τ (tau). As hipóteses do teste são: de não estacionariedade [$H_0: \delta=0, \delta=(1-\rho)$], isto é, há uma raiz unitária $I(1)$, e a hipótese alternativa de estacionariedade ($H_1: \delta < 0$). No caso da equação (10), testam-se hipóteses conjuntas, por isso usa-se o teste F, que também segue a estatística de τ (tau). As hipóteses testadas são: nenhuma tendência estocástica e existência de uma tendência determinística ($H_0: \delta < 0; \alpha \neq 0$).

4.2 Causalidade

A questão da causalidade está ligada a previsão, e não necessariamente a causalção. O teste de causalidade de Granger permite identificar essa relação de causalidade entre as séries, e pressupõe que as informações relevantes à previsão das variáveis preditivas estão contidas unicamente nos dados de série temporal dessas variáveis (Gujarati e Porter, 2011). O conhecimento da relação de causalidade é importante neste estudo para mostrar se uma determinada variável é capaz de melhorar a previsão de outra variável, ou seja, se é o preço à vista de açúcar que melhor explica o preço futuro de etanol (ou o inverso), se são ambas, ou se nenhuma delas contribui com esse fato.

Dado que, neste estudo, há três variáveis sendo incorporadas, preço futuro de etanol (hidratado e anidro) e preço à vista de açúcar cristal, lida-se com causalidade bilateral, uma vez que o teste será realizado aos pares, ou seja, preço do açúcar cristal com preço do etanol anidro e preço do açúcar cristal com preço do etano hidratado. Uma vez identificada a não estacionariedade das variáveis, pode-se fazer o teste com as variáveis diferenciadas, se ignoradas quaisquer relações de cointegração entre elas.

$$V_t = \sum_{i=1}^n \alpha_{vi} V_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_{vj} F_{t-j} + \mu_{1t} \quad (11)$$

$$F_t = \sum_{i=1}^n \gamma_{fi} F_{t-i} + \sum_{j=1}^n \theta_{vj} V_{t-j} + \mu_{2t} \quad (12)$$

Na equação (11), a variável dependente são os preços físicos, que estão em função de seus valores defasados e dos preços futuros também defasados, e, na equação (12), tem-se preços futuros como variável dependente, que estão em função de seus valores defasados e

dos preços físicos defasados. Pressupõe-se que os termos de erros (μ_{1t} e μ_{2t}) não são correlacionados, e que as variáveis dependentes são relacionadas com seus valores defasados em sua respectiva equação.

Ambas as regressões apresentadas são consideradas irrestritas. A equação do modelo restrito não inclui, neste caso, os valores defasados das outras variáveis, apenas os seus próprios valores defasados:

$$V_t = \sum_{i=1}^n \alpha_{vi} V_{t-i} + \mu_{1t} \quad (13)$$

$$F_t = \sum_{i=1}^n \gamma_{fi} F_{t-i} + \mu_{2t} \quad (14)$$

O teste de causalidade de Granger testa a hipótese nula de ausência de causalidade entre as variáveis. O teste segue a estatística F.

Se os preços futuros não forem relevantes para a previsão dos preços à vista – por exemplo, se os preços da BM&FBOVESPA de etanol hidratado (F) não causarem os preços físicos de açúcar cristal (V) em São Paulo –, os coeficientes α_{vi} não serão estatisticamente diferentes de zero. Logo, não se rejeitará a hipótese nula de que $H_0 = \alpha_{v1} = \alpha_{v2} = \alpha_{v3} = \dots = \alpha_{vp} = 0$, ou seja, de que preço futuro (F) de etanol hidratado da BM&FBOVESPA não causa preço à vista (V) de açúcar cristal em São Paulo.

Entretanto, essa relação de causalidade entre preço à vista e futuro pode se dar de quatro diferentes maneiras: unidirecional entre V e F, unidirecional entre F e V, bilateral, F causa V e V causa F, ou, ainda, independentes, ou seja, não há nenhuma relação de causalidade. Sendo que o que irá determinar essa relação será a significância das estimativas do teste empregado, considerando a particularidade de cada situação.

4.4 Modelos empíricos: razão ótima e efetividade do cross hedge

4.4.1 Modelo autorregressivo vetorial (VAR)

De acordo com Neto *et al.* (2009), um aspecto que torna frágil o modelo, em primeira diferença, é o fato de os resíduos poderem ser autocorrelacionados; por isso, optou-se por não utilizá-los na estimação da razão ótima do *cross hedge* e na efetividade, mesmo sendo um dos modelos tradicionais para essas estimativas.

De acordo com Gujarati e Porter (2011), os modelos VAR (vetor autorregressivo) têm su-

perioridade para se fazer previsões em relação aos modelos uniuacionais, por isso optou-se em utilizá-lo para prever a razão ótima e a efetividade da operação de *cross hedge*. As equações do modelo são:

$$V_{1t} = \theta + \sum_{j=1}^k \alpha_j V_{t-j} + \sum_{j=1}^k \beta_j F_{t-j} + \mu_{1t} \quad (15)$$

$$F_{1t} = \theta' + \sum_{j=1}^k \delta_j V_{t-j} + \sum_{j=1}^k \beta_j F_{t-j} + \mu_{2t} \quad (16)$$

em que μ são vetores de erro estocástico, independentes com $\mu_t \sim (0, \Sigma u)$, denominados impulsos ou choques, θ são interceptos e k o número de defasagens, que são definidas pelos critérios de Akaike e Shwarz e são de grande importância para a boa especificação do modelo, uma vez que diferentes defasagens podem alterar as estimativas feitas pelo VAR. Para a obtenção da razão ótima do *cross hedge*, substitui-se os valores da matriz de variâncias e covariâncias estimadas na equação (4), e a efetividade será obtida substituindo os valores na equação (7).

Entretanto, o modelo autorregressivo vetorial não considera a relação de cointegração entre as séries de preços. Diante disso, caso seja identificada uma relação de cointegração, o modelo VAR é inapropriado para se fazer previsões acerca da razão ótima e efetividade do *cross hedge*. Nesse caso, deve-se usar um modelo VEC (Modelo vetorial de correção do erro).

4.5 Fonte de dados

Os dados de etanol hidratado são referentes ao do contrato futuro ativo para essa *commodity* na BM&FBOVESPA, considerando o primeiro vencimento. E os dados de etanol anidro americano são referentes à Bolsa de Chicago Mercantile Exchange, coletados junto ao CME *Group*, também considerando o primeiro vencimento. Em cada contrato futuro, negocia-se 30 metros cúbicos de etanol, equivalentes a 30.000 litros.

Já os dados para o mercado *spot* de açúcar cristal para sacas de 50 quilos, consistem nos indicadores de preço do Cepea, relativos ao mercado de São Paulo, com impostos e sem frete. A escolha desse período foi feita com base no começo das negociações do contrato futuro de etanol hidratado na BM&FBOVESPA, que teve início em 17/05/2010, em que, coincidentemente, nesse período, os preços à vista do açúcar tiveram movimentos inesperados, por isso julga-se ser um período pertinente ao estudo.

A diferença de periodicidade está ligada à questão que Lien e Tse (1999) apontam com relação à variação do desempenho dos modelos conforme o horizonte de planejamento, por isso serão construídas séries semanais. As séries semanais de etanol anidro americano contêm 137 observações, correspondentes ao período de 05/2010 a 12/2012, considerando as sextas-feiras, sendo que, quando não houve informações para esse dia, as quartas ou quintas-feiras foram usadas na construção da série. A série semanal de etanol hidratado brasileiro contêm 137 observações, correspondentes ao período de 05/2010 a 12/2012, considerando as quartas-feiras, sendo que, quando não houve informações para esse dia, foram consideradas as quintas-feiras.

5 Resultados

Antes de definir o modelo que seria utilizado para estimar a regressão com as séries de preços futuro e físico, a ordem de integração das séries foi testada², para investigar se elas seriam estacionárias em nível, em primeira diferença, ou em torno de uma tendência determinística. O teste realizado para essa investigação foi o teste de Raiz Unitária de Dickey-Fuller Aumentado. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Primeiramente, as séries foram submetidas individualmente ao teste considerando a constante e uma variável tendência. Foi verificado que a série de preço futura de etanol brasileira (PF BR) é estacionária em torno de uma tendência determinística, dado que o coeficiente de tendência foi estatisticamente significativo, e as séries de preço futura de etanol americano (PF USA), preço à vista de açúcar cristal

brasileira (PV) e a série de açúcar cristal brasileira (PV*), considerando as quartas-feiras, não são estacionárias em nível. Entretanto, diferenciando as séries de preço futuro de etanol americano e as séries à vista de açúcar cristal, ambas mostraram-se estacionárias, ou seja, pode-se dizer que elas são integradas de ordem zero $I(1)$, e que não possuem nenhuma raiz unitária, sendo estacionárias em primeira diferença. Em consequência de as séries serem estacionárias $I(1)$, e a séries de etanol brasileiro serem $I(0)$, o melhor modelo para estimar a regressão seria o modelo Autorregressivo Vetorial (VAR), pois este pressupõe que as séries são estacionárias.

O critério utilizado para a escolha do número de defasagens será o de Shuwarz (SC), por ser mais parcimonioso. Esse critério indicou o uso de uma defasagem para o VAR com as séries de preços à vista brasileira e futuro americana. Os demais critérios também indicaram o mesmo número de defasagens. Já para o VAR com as séries de preços futuro de etanol hidratado e à vista brasileiras, o mesmo critério indicou o uso de duas defasagens. Os testes para a escolha das defasagens encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

Para testar se o número de defasagens indicado pelo critério SC é adequado para se estimar os modelos, foi feito um teste de autocorrelação dos resíduos das regressões. O teste realizado foi o de LM (Multiplicador de Lagrange), que se encontra na Tabela 4.

O teste dos resíduos do VAR para as séries de preço de etanol americano e de açúcar brasileiro, estimado com uma defasagem, não rejeitou a hipótese nula do teste, a de ausência de autocorrelação. O mesmo teste dos resíduos do modelo VAR para as séries de preço de

Tabela 1. Teste de Raiz Unitária para as séries de preços em nível.

Table 1. Unit Root Test for series price level.

Série	Estatística calculada	P-Valor
PF BR*	-2,977807	0,0397
PV**	-3,105895	0,1094
PF USA***	-2,046107	0,5706
PV	-2,682979	0,2454

Notas: (*) PF BR (preço futuro do etanol anidro brasileiro), (**) PV (preço à vista do açúcar cristal brasileiro) e (***) PF USA (preço futuro do etanol anidro americano).

Fonte: Dados da Pesquisa

² O software EViews 5.0 foi utilizado para a realização de todos os testes e estimações contidas neste estudo.

Tabela 2. Seleção da ordem de defasagem do modelo VAR (PF USA e PV).**Table 2.** Selection of the lag order of the VAR model (PF and PV USA).

Lags	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
1	609.5641	84.6012*	2.37e-07*	-9.58038*	-9.445322*	-9.525512*
2	609.8246	0.500290	2.51e-07	-9.521025	-9.295924	-9.429574
3	612.1944	4.476289	2.58e-07	-9.495149	-9.180007	-9.367117
4	613.2132	1.892029	2.70e-07	-9.447828	-9.042645	-9.283215
5	615.2653	3.745925	2.79e-07	-9.416910	-8.921686	-9.215716
6	619.1882	7.036217	2.80e-07	-9.415685	-8.830420	-9.177910
7	620.4154	2.162240	2.92e-07	-9.371673	-8.696367	-9.097317
8	624.4277	6.941987	2.93e-07	-9.371868	-8.606522	-9.060932

Nota: (*) Indica ordem selecionada pelo critério.

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 3. Seleção da ordem de defasagem do modelo VAR (PF BR e PV*).**Table 3.** Selection of the lag order of the VAR model (BR PF and PV *).

Lags	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
1	356.7343	NA	1.02e-05	-5.815.317	-5.769.349	-5.796.646
2	513.5769	305.9716	8.34e-07	-8.320.933	-8.183030*	-8.264921*
3	514.3937	1.566572	8.79e-07	-8.268.749	-8.038.911	-8.175.396
4	525.8010	21.50568	7.79e-07	-8.390.181	-8.068.408	-8.259.487
5	527.0623	2.336498	8.15e-07	-8.345.284	-7.931.576	-8.177.249
6	535.7043	15.72557*	7.55e-07*	-8.421382*	-7.915.739	-8.216.006
7	536.4175	1.274336	7.98e-07	-8.367.500	-7.769.921	-8.124.782
8	538.9264	4.400853	8.18e-07	-8.343.055	-7.653.542	-8.062.996

Nota: (*) Indica ordem selecionada pelo critério.

Fonte: Dados da pesquisa.

etanol hidratado e de açúcar brasileiro, estimado com uma defasagem, também não rejeitou a hipótese nula. Por esse motivo, os modelos VAR serão estimados com apenas uma defasagem cada, para ambas as combinações de séries à vista e futuro.

Apesar de o VAR ser ateuórico e considerar todas as séries como sendo endógenas, fez-se um teste de Causalidade de Granger para examinar a questão da predição entre as séries de preços futuro de etanol hidratado e anidro e a de preço à vista de açúcar. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Como se pode observar, a hipótese nula do teste de causalidade não foi rejeitada em nenhum dos casos. Segundo o teste, a relação de causalidade de Granger é independente, ou seja, as séries não têm uma precedência temporal definida. Isso, de certa forma, não contribui com a análise do problema, uma vez que

a precedência temporal muitas vezes ajuda na previsão dos acontecimentos. De acordo com o teste de causalidade, a série de preço à vista de açúcar cristal não causa Granger as séries de preços futuros de etanol anidro e etanol hidratado, sendo também o inverso verdadeiro.

A decomposição da variância dos erros de previsão pode também ser entendida como um teste de causalidade, no sentido de ser possível observar qual mercado é mais dependente do outro. O que se pode observar com a decomposição da variância é que as séries de preços futuro são um pouco mais dependentes das séries de preço físico de açúcar, ou seja, na décima semana, por exemplo, 5,41% dos erros de previsão da variância do preço futuro americano de etanol anidro podem ser explicados pelo preço do açúcar cristal brasileiro, e 94,58%, pela própria série de etanol. Isso indica uma leve dependência

Tabela 4. Teste do Multiplicador de Lagrange para os resíduos dos modelos VAR com uma defasagem.**Table 4.** Test of Lagrange Multiplier for residues of VAR models with a lag.

Lags	VAR uma defasagem (PF USA e PV)		VAR uma defasagem (PF BR e PV*)	
	Estatística LM	Probabilidade	Estatística LM	Probabilidade
1	0.329490	0.9878	1.364975	0.8503
2	0.889476	0.9261	22.93362	0.0001
3	5.621604	0.2292	1.043182	0.9032
4	1.616215	0.8059	209326	0.0003
5	6.714938	0.1517	5.173288	0.2700
6	4.816054	0.3067	6.376380	0.1727

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 5. Resultados do Teste de Causalidade de Granger para as séries semanais de preço futuro do etanol anidro americano e preço futuro do etanol hidratado brasileiro com a série de preço à vista de açúcar cristal brasileiro.**Table 5.** Results of Granger Causality Test for the weekly series from American future price of anhydrous ethanol and the future price of Brazilian hydrous ethanol with a series of spot price of Brazilian sugar.

Hipótese Nula	Estatística F	P-Valor	Lags
PF USA não causa PV	0.04475	0.83279	1
PV não causa PF USA	1.93910	0.16611	1
PF BR não causa PV*	1.97756	0.1621	1
PV* não causa PF BR	0.15719	0.6924	1

Nota: (*) a série de preço à vista semanal está em primeira diferença.

Fonte: Dados da Pesquisa.

entre o etanol americano e o açúcar brasileiro. No mesmo período, observa-se que 2,28% dos erros de previsão do preço do açúcar cristal são explicados pelo etanol hidratado brasileiro, e 97,71% são explicados pela própria série do açúcar. Já o etanol hidratado brasileiro tem praticamente todos seus erros de previsão da variância explicados por ele mesmo, sobrando uma parcela muito pequena para os preços do açúcar. Estes resultados podem ser observados na Tabela 6.

Para o cálculo da razão ótima e da efetividade da operação de *cross hedge*, que possivelmente pode ser uma ferramenta utilizada pelos produtores de açúcar cristal para se protegerem dos riscos de oscilação de preços presente nesse mercado, foi utilizada a matriz de variâncias e covariâncias das séries de preços semanais estimadas pelo modelo VAR. Os resultados serão mostrados na Tabela 7.

De acordo com os resultados obtidos, o agente que comercializa açúcar cristal teria

que negociar cerca de 19,52% de sua posição do mercado físico no mercado futuro americano, comprando ou vendendo contratos de etanol anidro, para conseguir minimizar 4,2% da variância de sua receita, indicando uma operação com baixa efetividade. Isso não se repete para a série de preços semanal do etanol hidratado brasileiro, no qual o agente teria que comercializar cerca de 2,1% de sua posição do mercado físico no mercado futuro brasileiro para conseguir minimizar a variância de sua receita, mas isso não ocorreria de forma efetiva, visto que essa operação de *cross hedge* teria aproximadamente -0,002 ou -0,2% de efetividade, ou seja, mesmo realizando um *cross hedge* com contratos de etanol hidratado, o agente não conseguiria minimizar o risco de preço presente nesse mercado.

As estimativas para o período de tempo deste estudo, ao analisarem uma operação de *cross hedge* com contratos futuros de etanol hidratado, mostraram que não é viável o agente

Tabela 6. Decomposição da variância para as séries semanais de preço futuro de etanol anidro americano, etanol hidratado brasileiro e de preço à vista de açúcar cristal brasileiro.**Table 6.** Decomposition of variance for the weekly series of future American anhydrous ethanol, Brazilian hydrous ethanol price and the spot price of Brazilian crystal sugar.

Período	Açúcar e etanol americano				Açúcar e etanol brasileiro			
	Preço à vista		Preço futuro		Preço à vista		Preço futuro	
	PV	PF USA	PV	PF USA	PV*	PF BR	PV*	PF BR
1	100.000	0.000000	2.96657	97.0334	100.0000	0.000000	0.128273	99.87173
2	99.9990	0.00095	3.47311	96.5269	99.90217	0.097832	0.071759	99.92824
3	99.9739	0.02612	4.38620	95.6138	99.69872	0.301283	0.056651	99.94335
4	99.9885	0.03152	4.44637	95.5536	99.42284	0.577161	0.060623	99.93938
5	99.7117	0.28826	4.52056	95.4794	99.11020	0.889796	0.072429	99.92757
6	98.8472	1.15282	4.73314	95.2669	98.78999	1.210015	0.086572	99.91343
7	98.4982	1.550184	5.12113	94.8789	98.48194	1.518061	0.100503	99.89950
8	98.3933	1.60674	5.33912	94.6609	98.19734	1.802664	0.113154	99.88685
9	98.4046	1.59541	5.40964	94.5904	97.94127	2.058735	0.124187	99.87581
10	98.4065	1.59345	5.41121	94.5888	97.71487	2.285130	0.133601	99.86640

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 7. Razões ótimas e efetividades de *hedge* para as séries de preços semanais.**Table 7.** Optimal ratios and hedge effectivities for the series of weekly prices.

	Etanol Anidro USA	Etanol Hidratado BR
Razão ótima	0,1952	0,021
Efetividade	0,042	-0,002

Fonte: dados da pesquisa.

do mercado sucroalcooleiro brasileiro, mais especificamente o que comercializa açúcar cristal, realizar operações em futuros utilizando esta *commodity*. Isso porque ela não se mostrou eficiente na cobertura do risco, por não conseguir efetivamente minimizar a variância da receita do *hedger*. Aconselha-se ao agente que tem interesse em realizar algum tipo de operação em futuros com contratos de etanol hidratado fazer uma avaliação mais acurada sobre a efetividade desses contratos, uma vez que, além de poderem não ter sua receita assegurada, podem ainda ter que arcar com custos de manutenção de suas posições em futuros, o que, de certa forma, pode contribuir com um prejuízo ainda maior. Mas a operação de *cross hedge* com contratos de etanol anidro americano se mostrou mais viável, pois conseguiu reduzir, mesmo que em pequena proporção, a variância da receita do agente do mercado físico brasileiro de açúcar cristal. Nessas circunstâncias, seria mais interessante para o agente do mercado

físico, comprar ou vender contratos futuros de etanol anidro americano, sendo esta uma operação que poderá lhe conferir certo grau de segurança, dada a ausência de um contrato futuro de açúcar cristal ativo no período analisado.

6 Considerações finais

A produção de cana de açúcar possibilita a produção de duas importantes *commodities* para a economia brasileira, o etanol e o açúcar. Sendo que, como em qualquer mercado, principalmente o mercado agropecuário, o principal fator de risco são as variações indesejáveis nos preços, que muitas vezes não são previstas e podem acabar gerando retornos negativos para os agentes envolvidos na cadeia produtiva do bem em questão. O mercado futuro, via compra ou venda de contratos futuros, muitas vezes consegue minimizar esses riscos.

O objetivo deste artigo foi investigar se as operações de *cross hedge*, de compra ou venda

de contratos de etanol hidratado brasileiro e anidro americano, iriam conseguir proteger os agentes participantes do mercado físico de açúcar cristal brasileiro, que não contavam com um contrato futuro de açúcar ativo no período. Para proceder essa análise foram construídas quatro séries semanais. A primeira série é referente ao contrato futuro brasileiro de etanol hidratado, levando-se em consideração as quartas-feiras, e consequentemente, uma série de açúcar cristal, também foi construída levando-se em consideração o mesmo dia da semana. Já a série de etanol anidro foi construída considerando as sextas-feiras, e sua respectiva série de açúcar cristal também teve como filtro as sextas-feiras. Esse fato foi uma limitação do estudo, dado que seria mais interessante se as séries levassem em consideração os mesmos dias da semana, mas, por serem séries semanais e por acreditar que um choque nos preços não é capaz de se dissipar completamente em dois dias, espera-se que esse fato não seja capaz de comprometer as estimativas. Entretanto, sugere-se que, dada a disponibilidade de dados acerca dos preços de etanol anidro na Bolsa de Chicago, sejam construídas séries de preço diárias para observar se os resultados corroboram ou não os encontrados nesta pesquisa.

Para o *cross hedge* realizado com contratos de etanol hidratado brasileiro, a razão ótima indicou a comercialização de 2% da posição do agente no mercado físico no mercado futuro, mas, com isso, o agente não conseguiria uma redução da variância de sua receita, dado que a efetividade da operação foi de 0%. Já para o *cross hedge* realizado com contratos futuros de etanol anidro americano, o agente, ao comercializar 19% da sua posição no mercado físico no mercado futuro, conseguiria uma redução de aproximadamente 4% da variância de sua receita.

Contudo, se o agente do mercado físico de açúcar fizesse uso da operação de *cross hedge* com contratos futuros de etanol hidratado para minimizar a variância de sua receita, essa operação não traria nenhuma vantagem, pois não conseguiria de fato proteger o *hedger* de eventuais perdas sofridas pelas oscilações de preço. Mas, se o fizesse utilizando os contratos futuros de etanol anidro americano, conseguiria alguma vantagem com a operação. Mas deve-se proceder com cautela, dados os custos embutidos nessas operações, que podem não compensar os possíveis ganhos, dado que a efetividade não se mostrou tão elevada.

Referências

- ALVES, J.S.; LIMA, R.C. 2010. Integração espacial dos mercados de etanol no Brasil: uma análise através do Modelo Autoregressivo com Threshold. In: Fórum BNB de Desenvolvimento, XV Encontro Regional de Economia, 2010. *Anais...* p. 1-23.
- BREALEY, R.A.; MYERS, S.C. 1995. *Princípios de finanças empresariais*. 3ª ed., Lisboa, McGraw-Hill de Portugal, 1995, 924 p.
- BM&FBOVESPA. 2013. Bolsa de mercadorias e futuros e Bolsa de valores de São Paulo. Boletim on-line. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/home.aspx?idioma=pt-br>. Acesso em: 01/02/2013.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). 2013. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/>. Acesso em: 01/02/2013.
- CME GROUP. [s.d.]. Chicago Mercantile Exchange. Disponível em: <http://www.cmegroup.com/pt/>. Acesso em: 01/01/2014.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). 2013. Companhia Nacional de Abastecimento. Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil (2008). Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 01/02/2013.
- GURARATI, D.N.; PORTER, D.C. 2011. *Econometria Básica*. 5ª ed., Porto Alegre, Editora Afiliada, 924 p.
- HULL, J.C. 2003. *Options, Futures, and Other Derivatives*. 5ª ed., Upper Saddle River, Prentice Hall, 822 p.
- LIEN, D.; TSE, Y.K. 1999. Fractional Cointegration and Futures Hedging. *Journal of Futures Markets*, 19(4):457-474. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9934\(199906\)19:4<457::AID-FUT4>3.0.CO;2-U](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1096-9934(199906)19:4<457::AID-FUT4>3.0.CO;2-U)
- MARQUES, P.V.; MELLO, P.C. 1999. *Mercados Futuros de Commodities Agropecuárias. (Exemplos e aplicações para os mercados brasileiros)*. São Paulo, Bolsa de Mercadorias e Futuros, 208 p.
- NETO, O.J. de O.; FIGUEIREDO, R.S.; MAIA, L.C. de C. 2009. Comparação empírica da efetividade de *hedge* do boi gordo pelos modelos de Myers & Thompson, auto-regressivo vetorial bivariado e vetorial de correção de erro. In: SEMEAD, XII, São Paulo, 2009. *Anais...* São Paulo, p. 1-15.
- SANTOS, J.A.; SANTOS, M.A. dos; VIDAL, M.F. 2007. Setor sucroalcooleiro Nordeste: desempenhos recentes e possibilidades de políticas. *Série Documentos do Etene*, n. 18. Fortaleza, Banco do Nordeste do Brasil.
- TONIM, J.R.; TONIN, J.G. ; PAVAN, L.S. 2012. Assimetria na transmissão de preços do etanol hidratado Paulínia/SP para o contrato BM&F: uma aplicação dos modelos TAR. In: Conferência de Gestão de Risco e Comercialização de Commodities, 2, São Paulo, 2012. *Anais...* São Paulo.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). 2013. União da Indústria de Cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.unica.com.br/>. Acesso em: 01/02/2013.
- VAN HORNE, J.C. 1998. *Financial management and policy*. 11ª ed., New Jersey, Prentice-Hall, 832 p.

Submetido: 25/08/2014

Aceito: 20/05/2015