UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO E GÁS
CURSO DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO E GÁS

EFETIVIDADE E RAZÃO ÓTIMA DE HEDGE PARA BARRIL DE PETRÓLEO

Lucca Benchimol Vieira

MANAUS – AM
2019

Lucca Benchimol Vieira

EFETIVIDADE E RAZÃO ÓTIMA DE HEDGE PARA BARRIL DE PETRÓLEO

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Petróleo e Gás da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas, como exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Petróleo e Gás.

Orientadora: Profa. MSc. Cristianlia Amazonas

MANAUS – AM
2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Vieira, Lucca Benchimol
V658e Efetividade e Razão Ótima de Hedge para Barril de Petróleo / Lucca Benchimol Vieira. 2019
80 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Cristianlia Amazonas
TCC de Graduação (Engenharia de Petróleo e Gás) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Barril de petróleo. 2. Hedge. 3. Riscos oscilatórios. 4. Modelos. 5. Mitigação. I. Amazonas, Cristianlia II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

LUCCA BENCHIMOL VIEIRA

EFETIVIDADE E RAZÃO ÓTIMA DE HEDGE PARA BARRIL DE PETRÓLEO

Esta monografia foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Petróleo e Gás, da Universidade Federal do Amazonas.

Aprovado em 10 de Dezembro de 2019.

Banca Examinadora:

Cristianlia A. da Silva Pinto.

Prof. MSc. Cristianlia Amazonas da Silva Pinto
Orientadora/Presidente – Universidade Federal do Amazonas

Ana Carolina Monte Almeida.

Profa. MSc. Ana Carolina Monte Almeida
Membro – Universidade Federal do Amazonas

Prof. Eng. Ketson Patrick de Medeiros Freitas
Membro – Universidade Federal do Amazonas

MANAUS - 2019

RESUMO

A energia tem um desempenho fundamental na manutenção econômica de cada nação, sendo atualmente, o petróleo a principal ante às demais, o que acaba por torná-lo um ativo estratégico e disputado, gerando uma boa variação de seus preços. Buscando minimizar os riscos oscilatórios desta commodity tão conturbada que se usa a prática de hedging. Portanto, o objetivo geral deste estudo foi analisar as operações de hedge do barril de petróleo por meio do contrato futuro WTI, afim de se obter a razão ótima de hedge e sua eficiência, para tal foram gerados 26 modelos como objeto de comparação. Os resultados dos modelos com melhor ajuste à realidade evidenciaram razão ótima de hedge (h), de 0,48 acompanhado de uma efetividade de 84% de mitigação de risco, cujo valor evidência a importância no uso da ferramenta protetiva para comerciantes de petróleo.

Palavras chave: Barril de petróleo; Hedge; Riscos oscilatórios; Modelos e Mitigação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **5**
2 JUSTIFICATIVA **7**
3 OBJETIVOS **8**
3.1 OBJETIVO GERAL 8
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8
4 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO **9**
4.1 BARRIL DO PETRÓLEO 9
4.1.1 Marcas de Petróleo **9**
4.1.2 Indicadores de Qualidade **10**
4.1.3 Situação do Brasil **12**
4.2 MERCADO DE DERIVATIVOS: ORIGEM E SUBDIVISÕES 13
4.2.1 Contrato Futuro **16**
4.2.2 Participantes dos Mercados Futuros **17**
4.2.3 Bolsa de Mercadorias e Futuros **18**
4.3 CONTRATO FUTURO DE BARRIL DE PETRÓLEO *WTI* 19
4.3.1 Características do *WTI* **20**
4.3.2 Especificações do *WTI* **21**
4.4 MERCADO *SPOT* 21
4.5 *HEDGE* 22
4.5.1 Risco de Base **24**
4.5.2 Razão Ótima de *Hedge* **25**
4.5.3 Efetividade de *Hedge* **28**
4.6 GEOPOLÍTICA DO PETRÓLEO 28
4.6.1 Disputa por Petróleo **30**
4.6.2 Cenário Atual **31**
4.7 MODELOS ECONOMÉTRICOS **32**
4.7.1 Mínimos Quadrados Ordinários **33**
4.7.2 Séries Temporais **35**
4.7.2.1 Modelos Dinâmicos 35
4.7.3 Modelos Estimadores da ROH **37**
4.8 ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS PARA REALIZAÇÃO DO *HEDGE* 39
4.8.1 Estacionariedade **40**

4.8.1.1 Teste de Estacionariedade 41
4.8.1.2 Teste da Raiz Unitária por *ADF* 42
4.8.2 Autocorrelação **44**
4.8.2.1 Teste de Autocorrelação 44
4.8.2.2 Teste de Durbin-Watson 45
4.9 MEDIDAS DE QUALIDADE DE AJUSTE 46
4.9.1 Coeficiente de Determinação R^2 ..... **46**
4.9.2 R^2 ajustado **47**
4.9.3 Critérios de Informação **47**
4.10 FONTE DE DADOS 49
4.11 SOFTWARE 49
5 METODOLOGIA **50**
5.1 TESTE DA RAIZ UNITÁRIA 51
5.2 TESTE DE AUTOCORRELAÇÃO 51
5.3 MODELOS ECONOMÉTRICOS 51
5.4 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE MODELOS 52
5.4.1 Teste de Durbin-Watson **52**
5.4.2 Medidas de Qualidade **52**
5.5 APLICAÇÃO DO *HEDGE* 52
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO **53**
6.1 TESTE DA RAIZ UNITÁRIA DAS SÉRIES SPOT E FUTURA PARA I(0) 53
6.2 TESTE DA RAIZ UNITÁRIA PARA I(1) E DE AUTOCORRELAÇÃO 54
6.3 ELABORAÇÃO DAS EQUAÇÕES BASEADAS DOS MODELOS 55
6.4 RAZÃO ÓTIMA DE *HEDGE* E EFETIVIDADE DE *HEDGE* 57
6.4.1 Resultado dos Modelos 1 e 2 ..... **57**
6.4.2 Resultado do Modelo 3 Ajustado **57**
6.4.3 Resultado do Modelo 4 ..... **59**
6.5 APLICAÇÃO DO *HEDGE* 62
7 CONCLUSÃO **65**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **66**
APÊNDICE A – Série de Preços Futuro do Barril de Petróleo *WTI* **73**
APÊNDICE B – Série de Preços *Spot* do Barril de Petróleo *WTI* **74**
APÊNDICE C – Conjunto de Equações Geradas pelo Modelo 3 Ajustado **75**
APÊNDICE D – Conjunto de Equações Geradas pelo Modelo 4 ..... **76**

APÊNDICE E – Adicionando defasagem em séries temporais **77**
APÊNDICE F – Aplicando a primeira diferença, I (1), em séries temporais **78**

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2016), o petróleo é responsável por ocupar 32,1% da matriz energética mundial, assim dado o cenário recente, este combustível fóssil é, portanto, o recurso estratégico mais importante da atualidade, sendo amplamente utilizado em um mundo em que uma demanda energética crescente anda de mãos dadas com o desenvolvimento das nações.

Fato é que toda essa importância tornou o barril do petróleo uma *commodity* muito vasta, sendo comercializada com diferentes referenciais de qualidade ao redor do mundo, e fortemente disputada pelos estados levando a uma acentuada oscilação de preço graças às políticas governamentais, portanto buscando não sofrer com atividades de terceiros, empresas ao redor do mundo comumente buscam amortizar seus riscos através do *hedging*.

Conforme Downey (2009), utilizar o *hedge* com petróleo envolve a entrada em uma operação para suavizar o risco econômicos a curto prazo dado a volatilidade dos preços do barril, em outras palavras o *hedge* pode ser entendido como um mecanismo que tem por objetivo conceder proteção contra a possível queda do preço de um ativo no futuro, ou seja trabalha como uma espécie de seguro.

Uma das melhores formas para se gerar uma gestão de risco para o barril de petróleo pode ser testada através de pressupostos econométricos, cuja função é justamente sintetizar um problema econômico real em uma expressão matemática, modelando, portanto, a realidade. Incisivamente, pode-se dizer que a econometria com o uso de *softwares* adequados, como *Eviews* e Excel, pode gerar resultados abrangentes a respeito do *hedge* que mais se encaixe na realidade.

No final das contas, o mecanismo busca agir como uma prevenção contra cenários indesejáveis, isto posto através de uma metodologia baseada nos trabalhos de Myers e Thompson (1989) conseguimos evidenciar uma maneira otimizada de se realizar o *hedge*, podendo ser de grande utilidade, a princípio, para importadores e exportadores de petróleo, mas passível de tornar-se um rumo para todas as outras empresas associadas a indústria do petróleo.

Levando em consideração a importância e protagonismo dos valores de mercado atrelados ao petróleo no mundo, juntamente com o método protetivo apresentado, o presente trabalho visa por meio deste avaliar as operações de *hedge* do barril do petróleo por meio do contrato futuro *WTI*, fornecendo assim uma razão ótima de *hedge* para o problema e apresentando a efetividade da mesma.

2 JUSTIFICATIVA

O barril do petróleo é figurado como uma commodity primordial para que o desenvolvimento socioeconômico possa ser alcançado. Segundo Villar (2018), o mesmo continua a ser a fonte energética mais importante para a humanidade neste início de milênio, logo podemos figurar o interesse das grandes nações em estabelecer o controle ante as demais, uma vez que a alta demanda representa a manutenção dos mercados de cada país.

Conforme a KPMG (2018), sendo o petróleo comercializado internacionalmente torna-se de extrema importância que se estabeleça uma gestão de risco para ele, uma vez que os preços estão condicionados a oferta e demanda em um comércio internacional cada vez mais turbulento. Tal volatilidade é, portanto, uma problemática inserida nos riscos de mercado.

Sabe-se que o *hedge* pode ser uma ferramenta imprescindível para aqueles que busquem proteção através do mercado financeiro. De acordo com Hull (2005), o hedge vem com o intuito de prevenir contra cenários econômicos desfavoráveis, a partir disto o barril do petróleo apresenta uma perspectiva aplicável interessante, posto que a geopolítica das nações que o dominam é muito agressiva, trazendo historicamente graves crises dado o seu preço e causando, por vezes, colapso econômico à sociedade e a indústria por trás do produto.

É natural, então, que o trabalho vise estabelecer uma gestão financeira eficiente como buscando a amortização dos riscos oscilatórios. Diante deste contexto, existe uma razão ótima de *hedge* (ROH) apresentando-se como a maneira mais eficaz de realizar o mecanismo proposto e a sua efetividade, como uma indicação de mitigação de risco das incertezas que o mercado apresenta a determinado produto, logo se imagina que ambos possam oferecer bons resultados para o barril do petróleo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as operações de *hedge* do barril do petróleo por meio do contrato futuro de petróleo (*WTI*), disponível na bolsa mercantil de *New York*, *NYMEX*.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os dados do mercado futuro e *spot* para barril de petróleo tipo *WTI* conferindo as hipóteses de autocorrelação e estacionariedade;
- Gerar regressões lineares com as séries temporais nos modelos a serem efetivados;
- Evidenciar o modelo econométrico mais bem ajustado segundo os testes de Durbin-Watson e os critérios de informação;
- Determinar a efetividade (R^2) e a razão ótima de *hedge* (ROH);
- Demonstrar como funciona o cálculo de amortização quando se aplica a ferramenta a um caso em específico;

4 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

4.1 BARRIL DE PETRÓLEO

Na final do século XIX, o petróleo ainda não possuía um volume de comercialização fixo, sendo comumente estocados em barris de *whiskey* e vinho, que na época possuíam 40 galões. De acordo com Downey (2009), a *Standard Oil* padronizou o volume para 42 galões, sendo equivalentes a 158,98 litros, que ficaram conhecidos como *Standard Oil Blue Barril*, ou nos dias atuais, bbl.

Ainda segundo Downey (2009), a mensuração entrou em vigor para permitir que até dois galões evaporassem durante o embarcamento e consequente transporte até a refinaria, logo é um importante motivo para que seja aceitável um grau de evaporação entre 1% a 5% em grandes negociações envolvendo petróleo.

4.1.1 Marcas de Petróleo

Pelo petróleo ser encontrado em diversos campos ao redor do mundo, é natural que a diversidade induza diferentes características para cada região em que é produzido. Conforme Kurt (2019), existem dezenas de referências para a *commodity*, as quais para Bobrova (2018) podem ser diferenciadas pelo peso e densidade dos óleos, indutores do grau API, e a existência de contaminantes; fatos os quais contribuem para diferentes preços no mercado.

Kurt (2019) apresenta os principais tipos de referências conhecidas, são elas *Brent*, *West Texas Intermediate* (*WTI*) e *Dubai Crude*:

Brent: refere-se à um óleo extraído de 4 campos diferentes no Mar do Norte: Brent, Forties, Oseberg e Ekofisk. Conhecido por ser leve e *sweet*, ou seja, ideal para refino de diesel, gasolina e outros produtos de maior demanda. Além do mais é produzido em regiões próximas ao mar, o que torna o custo de deslocamento mais baixo (KURT, 2019).

WTI: refere-se ao óleo extraído de poços nos Estados Unidos e enviados por tubulação até Cushing, Oklahoma. O fato de ser produzido em terra é uma das

desvantagens desse óleo, tornando relativamente caro transportá-lo para diversas partes do mundo. O produto em si é muito leve e muito *sweet*, tornando-o ideal para refino de gasolina, em particular (KURT, 2019).

Dubai Crude: Esse petróleo do oriente-médio é uma referência para aqueles com graduações inferiores ao *WTI* ou ao *Brent*. Consistindo em petróleo produzido em Dubai, Oman ou Abu Dhabi, sendo de alguma forma mais pesado e contendo mais enxofre que os demais. Dubai/Oman são as principais referências de exportadores do Golfo Pérsico para o mercado asiático (KURT,2019).

Segundo Bobrova (2018), os óleos das marcas *Brent* e *WTI* são as mais confiáveis referências, tanto pela qualidade do produto quanto das exportações. O preço de ambos tem sido negociado em patamares similares estando as principais diferenças relacionadas ao custo de transporte, custo de produção e, oferta e demanda de cada região.

4.1.2 Indicadores de Qualidade

Buscando entender melhor as propriedades físicas do petróleo Mello (1984), nos diz que sua principal propriedade é a densidade específica, que nos Estados Unidos é expressa em forma de grau API, cuja base de cálculo está descrita na equação abaixo.

$$°API = (141{,}5 / \rho) - 131{,}5 \qquad (4.1.1)$$

Onde:
ρ = Densidade da amostra a 60ºF

Mello (1984) diz que quanto maior o ºAPI, mais fluido é o óleo e consequentemente maior é o valor comercial do mesmo, valendo também o inverso em que um óleo com menor ºAPI seja mais viscoso e gere derivados de menor valor comercial. Podemos ver na Tabela 1, a classificação dado o ºAPI.

Tabela 1: Classificação dos óleos dado o ºAPI

Classificação	**ºAPI**
Óleo leve	ºAPI > 30
Óleo médio	30 > ºAPI >20
Óleo pesado	20 > ºAPI > 10
Óleo extra-pesado	10 > ºAPI

FONTE: Adaptação de Mello (1984)

Outro parâmetro importante considerado por Mello (1984) é o teor de enxofre no óleo, cuja alta concentração gera fortes odores nos derivativos, aumenta a complexidade do processamento industrial e corrobora com a emissão de gases tóxicos durante a queima dos combustíveis, logo os óleos com concentração de enxofre abaixo de 0,5% são chamados de *sweet oil*s, ou óleos doces, e com concentração acima de 0,5%, de *sour oils*, ou óleos ácidos.

Podemos verificar a Tabela 2, que apresenta o ºAPI junto do teor de enxofre de produções petrolíferas de diversas regiões ao redor do mundo. É possível visualizar também uma inversa proporcionalidade entre os valores de ºAPI dada a porcentagem de enxofre dos óleos.

Tabela 2: Características de alguns tipos de óleo bruto

Nome, estado e país	ºAPI	Teor de Enxofre %
Smackover, Ark., USA	20,5	2,3
Kem River, Cal., USA	10,7	1,23
Kettleman, Cal., USA	37,5	0,32
Loudon, Ill., USA	38,8	0,25
Rodessa, La., USA	42,8	0,28
Oklahoma City, Ok., USA	37,3	0,11
Leduc, Alberta, Canadá	40,4	0,29
Boscan, Venezuela	9,5	5,25
Poza Rica, México	30,7	1,67
Kirkuk, Iraque	36,6	1,93
Abqaiq, Arábia Saudita	36,5	1,36

FONTE: Adaptado de Mello (1984)

4.1.3 Situação do Brasil

De acordo com Reis (2018), o Brasil produz um barril de petróleo em média mais pesado que as principais marcas, logo faz-se necessária a importação de óleo mais leve para ser misturada a produção brasileira, buscando facilitar o refino e atingir produtos de maior valor agregado. Da mesma forma os barris produzidos no Brasil são exportados para o exterior para que haja produção de asfalto.

Reis (2018) explica também que a dependência pelo óleo mais leve surge dada a complexidade para refinar a produção brasileira, mas que isso vem diminuindo com a consequente redução de barreiras tecnológicas.

Conforme Larco (2014), cada barril de petróleo produzido pela Petrobrás deve ser capaz de fornecer em média 40% de diesel, 18% de gasolina, 14% de óleo combustível, 8% de GLP, 8% de nafta, 4% querosene de aviação e 8% demais produtos, para que possa atingir as necessidades das demandas atuais de mercado, como podemos verificar na Figura 1.

Figura 1: Média de valores referentes ao perfil de refino da Petrobrás

FONTE: Adaptado de Reis (2018)

4.2 MERCADO DE DERIVATIVOS: ORIGEM E SUBDIVISÕES

A primeira tentativa formal de se estabelecer um mercado futuro surgiu no Japão feudal no século XVII. Assim Pinto (2007) descreve que graças a negociação irregular de arroz, que sofria de problemáticas referentes a sazonalidade, e uma economia em expansão, que necessitava cada vez mais do produto, surgiu-se uma solução para satisfazer senhores de terra e negociantes.

Ainda conforme o autor supracitado, o arroz excedente produzido em boas épocas do ano passou a ser estocado e negociado em forma de recibos de armazenagem, em que o comerciante detentor poderia fazer uso e resgatar sua mercadoria quando bem entendesse, em uma data futura. Este tornou-se conhecido como mercado de *Dojima*. Segundo Mendes (2004) tais recibos de armazenagem passaram ainda a valer como moeda local. Na Figura 2, abaixo podemos visualizar uma representação da bolsa de arroz de *Dojima*.

Figura 2: Bolsa de Arroz de *Dojima*. Quadro da autoria de *Hiroshige* (1797-1858) Propriedade da Biblioteca de *Nakanoshima* da Prefeitura de *Osaka*.

FONTE: Retirado da *Tokyo Stock Exchange*

A operação acima é descrita por Pinto (2007) por ter regras extremamente similares às de um mercado a termo, que por sua vez é uma das classes do mercado de derivativos.

Os contratos negociados em bolsa e os recibos de armazenagem de arroz são exemplos de Derivativos, o que de acordo com Mendes (2004) são definidos como instrumentos financeiros que possuem preço dependente ou são "derivados" do preço de outras mercadorias. Para o primeiro caso temos como exemplo o contrato futuro de barril de petróleo que tem valor atrelado ao barril propriamente dito vendido em mercado a vista, para o segundo caso temos o IBOV (Índice Bovespa), que não representa uma, mas sim uma porção de ações atreladas a um valor conjunto. Buscando dar sentido mais amplo Araújo (2016) descreve os derivativos como um contrato entre duas partes, este o qual busca somente a troca de valor entre ativos, índices e *commodities*. Pinto (2007) conclui duas premissas acerca dos derivativos.

Premissa um: a oscilação dos preços dos derivativos é fruto da oscilação de mercado de seus produtos de referência, logo não são causa, mas sim efeito das negociações a vista.

Premissa dois: são uma forma de negociar as oscilações de preços de ativos, não necessariamente havendo entrega de um produto fisicamente; corroborando com a definição apresentada por Araújo (2016) como os derivativos sendo uma troca de valor.

Pinto (2007) separa o mercado de derivativos em quatro: a termo, futuro, de opções e de *swap*. Sendo bem descritos abaixo tanto por definição quanto pela Tabela 3.

a) Mercado a termo: como comprador ou vendedor do contrato a termo, há o comprometimento em comprar ou vendar certa quantidade de um bem (mercadoria ou ativo financeiro) por um preço fixado, ainda na data de realização do negócio, para liquidação em data futura. Os contratos a termo somente são liquidados integralmente no vencimento. Podem ser negociados em bolsa e no mercado de balcão (PINTO, 2007).

b) Mercado futuro: Deve-se entender o mercado futuro como uma evolução do mercado a termo, em que há o comprometimento em comprar ou vender certa quantidade de um bem (mercadoria ou ativo financeiro) por um preço estipulado para liquidação em data futura. A definição é semelhante à do mercado a termo, tendo como principal diferença a liquidação de seus compromissos somente na data de vencimento. Já no mercado futuro há maior flexibilidade, pois, os compromissos são ajustados financeiramente às expectativas do mercado referentes ao preço futuro daquele bem, por

meio do ajuste diário (mecanismo que apura perdas e ganhos). Além disso, os contratos futuros são negociados somente em bolsas (PINTO, 2007).

c) Mercado de opções: negocia-se o direito de comprar ou vender um bem (mercadoria ou ativo financeiro) por um preço fixo numa data futura. O detentor do direito deve pagar um prêmio ao vendedor tal como num acordo de seguro (PINTO, 2007).

d) Mercado de *swap*: negocia-se a troca de rentabilidade entre dois bens (mercadorias ou ativos financeiros). Pode-se definir o contrato de swap como um acordo, entre duas patês, que estabelece troca de fluxo de caixa tendo como base a comparação da rentabilidade entre dois bens. Deve-se observar que a operação de swap é muito semelhante à operação a termo, uma vez que sua liquidação ocorre integralmente no vencimento (PINTO, 2007).

Tabela 3: Principais diferenças entre mercado a termo e mercado futuro.

	Mercado a termo	**Mercado futuro**	**Mercado de opções**	**Mercado de swap**
Onde se negocia	Balcão ou bolsa.	Somente bolsa.	Balcão ou bolsa.	Balcão ou bolsa.
O que se negocia	Compromisso de comprar ou vender um bem por preço fixado em data futura.	Compromisso de comprar ou vender um bem por preço fixado em data futura.	Os compradores adquirem o direito de comprar ou de vender por preço fixo em data futura.	Compromisso de troca de um bem por outro. Trocam-se fluxos financeiros.
Posições	Ausência de intercambialidade.	Intercambialidade.	Intercambialidade.	Ausência de intercambialidade.
Liquidação	A estrutura mais comum é a liquidação somente no vencimento. Há contratos em que o comprador pode antecipar a liquidação.	Presença de ajuste diário. Compradores e vendedores têm suas posições ajustadas financeiramente todos os dias, com base no preço de fechamento da bolsa.	Liquidam-se os prêmios na contratação da operação. No vencimento, apura-se o valor da liquidação a partir do exercício do direito dos compradores.	Somente no vencimento ou antecipadamente, com a concordância das partes.

FONTE: Adaptado de Pinto (2007)

4.2.1 Contrato Futuro

Hull (2005) nos mostra que os mercados futuros são operados por ferramentas conhecidas como contratos futuros, cuja função consiste em estabelecer uma compra ou venda em preço determinado, numa data futura. Uma característica forte desses contratos é a sua padronização, ou seja, contém literalmente detalhes a serem seguidos entre duas partes.

Mendes (2004) acrescenta ainda, que por exemplo no caso dos contratos futuros, sua maioria não é conduzido para a entrega na data de liquidação futura, pois dada a sua flexibilidade é preferível que a maioria dos investidores feche sua posição realizando um contrato oposto. Na prática, Hull (2005) afirma que uma posição é justamente o número de contratos comprados ou vendidos em determinado preço e exemplifica um fechamento de posição através de um investidor X, o qual, compra 5 contratos futuros de milho para junho, em 6 de maio, e fecha sua posição em 20 de junho vendendo 5 contratos futuros de milho. No final das contas o ganho deste investidor é determinado pela variação de preço do contrato futuro entre 6 de maio e 20 de junho.

Para que entendamos melhor a padronização de um contrato futuro, Hull (2005) seleciona alguns pontos importantes a serem considerados, são eles: especificação do ativo, tamanho do contrato, vencimento e procedimento de entrega, meses de negociação, cotações de preço, limite de oscilação, dentre outros. O que podemos ver diretamente no item 4.3, em que se explana o contrato futuro de barril de petróleo *WTI*.

Visto que no item 4.2, os contratos futuros são uma evolução do contrato a termo Pinto (2007) cita outro mecanismo previsto nesses, o qual é o ajuste diário, sendo, portanto, a equalização de todas as posições no mercado futuro em um preço único no final do dia. Então operadores que tiverem comprado abaixo do preço de ajuste ou vendido acima dele receberão um saldo positivo em suas contas ao final do dia e aqueles que tiverem comprado acima e vendido abaixo do preço de ajuste terão um valor retirado de suas contas, resultando que todos iniciem o próximo dia de negociação no preço de ajuste. Vale ressaltar que para o contrato a termo, o ajuste ocorre apenas no vencimento do contrato e consequentemente há acumulo de perda ou ganho até o último dia do contrato.

Pinto (2007) acrescenta que o ajuste diário obriga os participantes a possuírem uma margem financeira em suas contas para que possa ser debitado ou acrescentado algum valor decorrente dessa operação, surgindo conclusivamente com o intuito de evitar

falta de cumprimento do contrato, pois uma vez que é acertado a compra ou a venda de um ativo no final do mês, uma delas pode falhar com o compromisso e trazer prejuízo para a outra.

4.2.2 Participantes dos Mercados Futuros

Conforme Hull (2005), os mercados futuros têm obtido grande sucesso em atrair diferentes tipos de operadores, conferindo a alta liquidez às operações, em outras palavras, o ativo é convertido em dinheiro com facilidade. Portanto, caso um investidor deseje negociar um contrato, não há dificuldades em encontrar uma contraparte procurando realizar o negócio.

Segundo Mendes (2004), os participantes do mercado futuro podem incluir: bancos, corretoras, tesourarias de empresas, investidores institucionais, investidores privados, distribuidores dentre outros. Por fim abrangem três tipos de operadores: *hedgers*, especuladores e arbitradores.

1) *Hedger*s: são os participantes do mercado ligados ao produto físico, que de acordo com Mendes (2004) procuram eliminar o risco associado ao preço do mesmo ativo; da mesma forma lucros maiores não ocorrem para esta classe como consequência da venda de seu risco para investidores que desejem aceitá-lo.

2) Especuladores: enquanto os *hedgers* não desejam ficar expostos a movimentos adversos no preço de um ativo, os especuladores desejam apostar nas oscilações futuras de preço de um ativo para ganhar dinheiro (MENDES, 2004), ou seja, são os investidores tomadores de risco citados anteriormente.

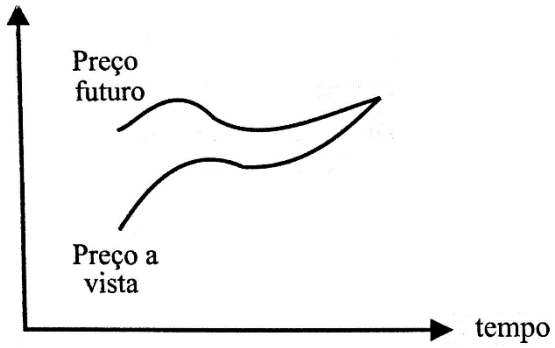
3) Arbitradores: são aqueles participantes que examinam travar os lucros sem riscos, para tal Mendes (2004) diz que esta classe procura realizar transações simultâneas em dois mercados, os quais geralmente são o *spot* e o futuro, conferindo sintonia entre os preços. Podemos ver nas figuras abaixo a tendências que os preços têm de se manterem próximos e de retornarem à paridade ao fim do mês.

Hull (2005) mostra no Gráfico 1, uma janela de oportunidade para os arbitradores, que no primeiro caso efetuam a compra do ativo no mercado a vista e o vendem no futuro, e realizam a situação inversa no segunda caso tratado pela imagem, garantindo

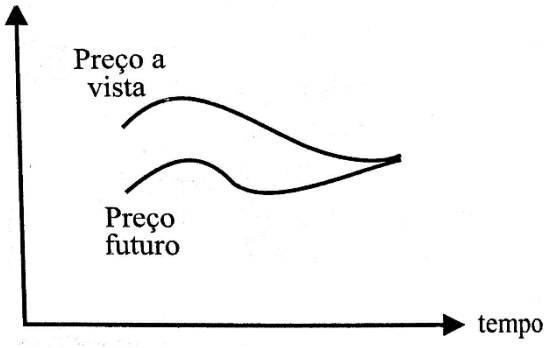
convergência de preços até o fim do vencimento quando a mercadoria deve ser entregue no mercado futuro, por exemplo.

Gráfico 1: Relação entre preços futuro e a vista com a aproximação do vencimento do contrato.

a) Preço futuro acima do preço a vista



b) Preço futuro abaixo do preço a vista



FONTE: Hull (2005)

Hilário (2018) afirma, portanto que se algum participante quiser se inserir no mercado futuro este deve optar por uma bolsa de mercadorias e futuros, que possibilita a negociação de diversos derivativos facilitando as intenções do cliente.

4.2.3 Bolsa de Mercadorias e Futuros

De acordo com o Banco Centra do Brasil (201-?), as bolsas de mercadorias e futuros são associações privadas que devem desenvolver, organizar e operacionalizar um mercado de derivativos livre e transparente, proporcionando aos agentes econômicos a oportunidade de efetuarem operações de *hedging* (proteção) ante flutuações de preços de *commodities*, taxas de juros, moedas, dentre outros. Possuem autonomia financeira, patrimonial e administrativa, sendo então fiscalizadas pela Comissão de Valores Mobiliários (CVM), o qual representa uma autarquia vinculada ao Ministério da Economia.

Em contraditório com o que vimos no item 4.2, Mendes (2004) nos traz a visão de que existem outras classes de operadores, os quais são os arbitradores e os especuladores, sendo segundo Hull (2005), os que também contribuem para uma maior liquidez.

Conforme CFI (20-), uma das mais vastas bolsas de mercadorias e futuros do mundo é a NYMEX, ou bolsa de mercadorias de Nova York, que é gerenciada pelo *CME Group* desde 2006, uma das empresas líderes em mercados do mundo todo. Dentre as *commodities* negociadas pela NYMEX temos por exemplo, carvão, eletricidade, gasolina, diesel, barril de petróleo e outros mais. Podemos observar que não só empresas produtoras como diversas outras que necessitam de refinados podem ser *hedgers*, entretanto para o trabalho em destaque, o foco será é o barril de petróleo *WTI*.

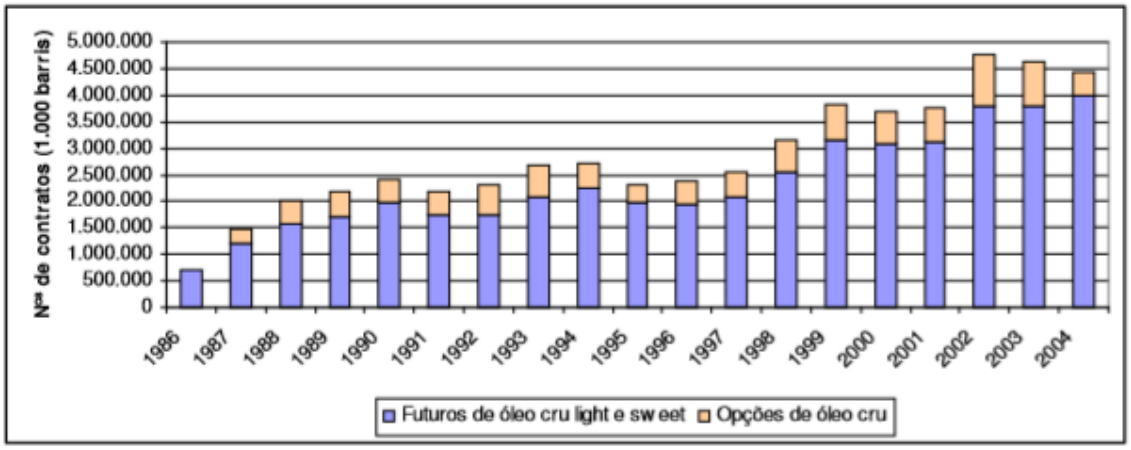
Em conformidade com Hilário (2018), é comum que haja uma certa confusão entre bolsa de valores e bolsa de mercadorias e futuros, cuja diferença primordial seja o fato de a primeira ser responsável pela negociação de ações de empresas. Um grande ponto de ambiguidade é a realização de ambas as atividades por algumas bolsas, como no caso em que a união da Bovespa (Bolsa de Valores de São Paulo) e da BM&F (Bolsa de Mercadorias e Futuros) levou a criação da BM&FBovespa, que em 2017 se uniu a CETIP (Central de Custódia e Liquidação de Títulos) culminando na formação da B_3.

4.3 CONTRATO FUTURO DE BARRIL DE PETRÓLEO *WTI*

Os futuros de petróleo *WTI*, simbolizam em outras palavras um produto disponibilizado pelo *CME Group* através da NYMEX e conforme Serafin (2019), como em qualquer contrato, é um importante regulador de toda a negociação realizada entre as partes, portanto sempre deve ser passível de revisão.

De acordo com Mendes (2004), o número de contratos futuros e opções negociados vem apresentando uma tendência crescente com o passar dos anos, o que pode ser visto no Gráfico 2.

Gráfico 2: Crescimento do número de contratos futuros e opções de óleo cru na *NYMEX* (1986 – 2004) – média mensal



FONTE: Mendes (2004)

4.3.1 Características do *WTI*

Verificamos abaixo os principais destaques do contrato futuro de petróleo WTI, que tem todas as suas nuances fornecidas pelo *CME Group* (2009):

1. Símbolo do contrato: CL
2. Unidade do contrato: 1000 barris
3. Cotação: dólar americano
4. Contratos listados: futuros de petróleo são listados 9 anos à frente, ou seja, existem contratos com vencimentos programados para cada mês nos próximos 108 meses.
5. Oscilação mínima: US$ 0,01 por barril
6. Oscilação máxima: No início de cada dia de negociação, haverá limites de oscilação de preços de US$ 10 por barril acima ou abaixo do preço de liquidação do dia anterior do contrato de mesmo mês. Se o range for ultrapassado ocorre um evento que interrompe as negociações por 5 minutos em todos os meses de vencimento.
7. Vencimento do contrato: ocorre no terceiro dia útil antes do vigésimo quinto dia do mês predecessor ao de entrega, em outras palavras, o CL de novembro vence em outubro.
8. Entrega da *commodity*: deve ser feita com o F.O.B em qualquer oleoduto para *Cushing, Oklahoma* com acesso ao oleoduto TEPPCO, estoque de *Cushing* ou ao

estoque de *Cushing* da *Equillon Pipeline Company LLC*. O termo F.O.B significa uma entrega em que o vendedor fornece óleo leve para o ponto de conexão entre a entrada do vendedor e a saída do oleoduto do comprador ou local de armazenagem.

9. Período de entrega: ocorre não antes do primeiro dia do calendário do mês de vencimento e até o último dia de calendário do mês de entrega.

4.3.2 Especificações do *WTI*

Outras informações válidas a respeito deste contrato futuro são as especificações que levam ao padrão de petróleo comercializado, que encontramos no capítulo 200 do livro de regras da *NYMEX*, elaborado pelo *CME Group* (2009), algumas as quais podemos observar a seguir:

1. Teor de enxofre: menor ou igual a 0,42%.
2. Grau API: deve estar contido entre 37 e 42.
3. Viscosidade: no máximo 60 segundos universais *saybolt* (sus) a 100 graus *Fahrenheit*.
4. Pressão de vapor *Reid*: menor que 9,5 libras por polegada quadrada a 100 graus *Fahrenheit*.
5. Sedimentos, água e impurezas: menor que 1%.
6. Ponto de fluidez: não deve exceder 50 graus *Fahrenheit*.
7. Resíduo de carbono do método micro: 2,4% ou menos por massa.
8. Número total de ácido: 0,28 mg de hidróxido de potássio por grama ou menos.
9. Níquel: 8 partes por milhão (ppm) ou menos, por massa.
10. Vanadium:15 ppm ou menos, por massa.

4.4 MERCADO *SPOT*

Algumas nomenclaturas mencionadas pelo Instituto de Economia Aplicada (Ipea), que é um órgão do governo brasileiro vinculado ao Ministério da Economia, referem-se ao mercado *spot*, também como, mercado disponível, mercado físico ou mercado à vista.

Ipea (2006) afirma, como suas alcunhas sugerem que este represente um sistema de negociação em que as transações de mercadoria são imediatas e seu pagando feito à vista.

Em concordância com o Ipea, Reis (2019) afirma que este mercado também está contido nas bolsas de mercadorias e futuros, em que se fala muito em preço *spot*, que é o representante da cotação de uma *commodity* no presente. Portanto, tal mercado é uma alternativa às negociações tradicionais que não são intermediadas via bolsa de mercadorias, justamente pela velocidade com que as negociações são conduzidas, garantindo crédito rápido aos produtores que necessitam se capitalizar e recebimento quase que instantâneo de mercadorias pelos compradores.

Visando entender como ocorrem as negociações via mercado *spot*, Lamounier (2001) comenta uma ocasião alegórica auxiliada por um leiloeiro, que inicialmente anuncia um dado preço para a *commodity* em questão. Os compradores então devem escrever em um pedaço de papel, X, se estiverem dispostos a comprar no preço em questão e, 0, se não estiverem. Em contrapartida, os vendedores devem escrever em um pedaço de papel, Y, se estiverem dispostos a vender e, 0, se não estiverem. O leiloeiro deve então coletar os papéis e comparar o número total de X e Y. Se a quantidade demandada pelo preço anunciado exceder a quantidade ofertada, o leiloeiro deve anunciar um novo preço e repetirá o leilão, porém se as quantidades demandadas e ofertadas forem iguais para um mesmo preço, o mercado estará em equilíbrio e o leiloeiro recolherá o dinheiro para os vendedores e as *commodities* para os compradores.

A *Invest Oil* (20-) que faz suas análises para commodities de óleo cru e derivados, nos diz que os preços estabelecidos servem como base de negociação para todos os comerciantes do mundo uma vez que é firmado um padrão. Logo, uma vantagem direta é a disponibilidade e a facilitação de negociação pelas diversas nações, já a desvantagem seria a dificuldade que pequenas empresas tem em negociar *commodities* em preços diferentes através de padrões não estabelecidos.

4.5 *HEDGE*

No item 4.2.2, Mendes (2004) esclarece o objetivo do *hedgers*, que são justamente aqueles buscando neutralizar seus riscos, sejam eles o preço do petróleo, a taxa de câmbio, o preço das ações ou qualquer outra variável, o que podemos observar no artigo de Millard (2019), que comenta o fato da Petrobras ser atualmente a empresa que mais realiza

hedging junto à PEMEX, estatal mexicana. Além destas, diversas outras empresas de petróleo ao redor do mundo buscam casualmente proteger parte da sua produção como a *Energen* e a *EV Energy Partners*, ambas citadas pela IstoÉ (2016).

Conforme Hull (2005), o *hedge* perfeito é aquele que eliminação totalmente os riscos, que na prática é raro, entretanto estudá-lo com contratos futuros e mercado *spot*, é examinar as maneiras pelas quais podem ser construídos de tal forma que sua *performance* seja a máxima possível.

De acordo com ADVFN (20-), que é um portal de investimentos de ações da bolsa de valores do Brasil, o *hedge* é essencial para vários setores e pode ser praticado com dois vieses, compondo então o *hedge* de compra e de venda, que podem ser exemplificados para os casos a seguir:

Hedge de compra de contratos futuros de *commodities*: A compra de contratos futuros com a intenção de *hedge* é feita por aqueles que se comprometeram a entregar uma determinada mercadoria numa data futura e estão preocupados que o preço no mercado físico possa subir nesse ínterim (ADVFN, 20-)

Hedge de venda de contratos futuros de *commodities*: A venda de contratos futuros com a intenção de *hedge* é feita por aqueles que produzem, armazenam, processam ou distribuem uma *commodity* e seriam profundamente afetados se os preços no mercado físico declinassem (ADVFN, 20-).

Dadas as intenções dos *hedgers*, Hull (2005) faz um balanço dos argumentos a favor e contra o *hedge* com contratos futuros, e começa afirmando que os argumentos a favor são tão óbvios que dificilmente precisam ser declarados. Dito isto, se imaginarmos que a maioria das empresas não possuem habilidades para prever variáveis como taxa de juros, taxas de câmbio e preços de *commodities*, faz sentido, portanto que busquem fazer o *hedge* para mitigar o risco dessas variáveis, visando evitar surpresas desagradáveis.

Segundo Hull (2005), o principal argumento contra o *hedge* é não evitar que a empresa possa alcançar faturamentos maiores, se observarmos por exemplo duas empresas de mesmo setor, suponhamos que a empresa A faz uso da ferramenta e consequentemente terá faturamento constante, já a empresa B não faz uso do *hedge* e, portanto, terá faturamento variável. Se considerarmos que o lucro da empresa B possa superar os da empresa A em determinados meses do ano, teremos um argumento válido contrário a ferramenta, este mesmo assim perderá sustentação uma vez que a empresa A terá as contas sob maior controle, evitando que seu lucro seja exposto a riscos. Em meses

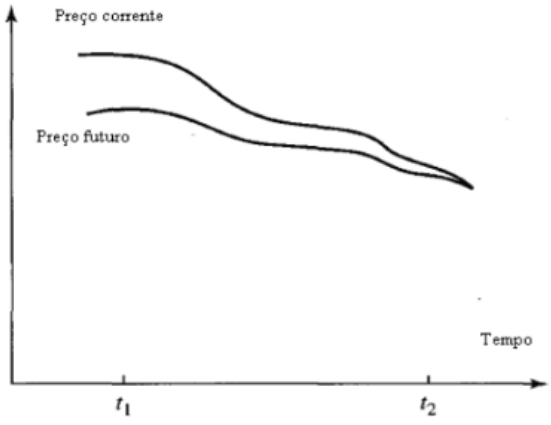
que o lucro da empresa B seja menor que o da A, é possível que suas operações sejam comprometidas dado o risco não amortizado.

4.5.1 Risco de Base

De acordo com Castro Júnior (2004, *apud* NETO, MACHADO e FIGUEIREDO, 2009), a diferença entre os preços nos mercados à vista e os preços do mercado futuro em um instante específico é chamado de base. Portanto, se o preço *spot* e futuro possuírem os mesmos valores no instante em que se inicia o hedge e no instante que o finaliza, teremos uma operação perfeita.

Já risco de base é explicado por Neto, Maia e Rezende (2015), como sendo a variação entre as bases inicial e final. Logo, Neto, Machado e Figueiredo (2009) sugere que esse risco tenha alguns motivos, como: a qualidade do produto, a localização do mercado e o tempo de vigência do contrato; em outras palavras, esses fatores levam os mercados a oscilarem em patamares próximos, mas dificilmente iguais. Podemos observar no Gráfico 3 abaixo, que denota a variação da base ao longo do tempo.

Figura 3: Variação da base ao longo do tempo.



FONTE: Hull (2005)

Hull (2005) comenta que para se examinar o risco de base, devem-se fazer as seguintes notações, tendo como marco o gráfico acima:

S_1 = preço *spot* na data t_1

F_1 = preço futuro na data t_2

S_2 = preço *spot* na data t_1

F_2 = preço futuro na data t_2

$b_1 = S_1 – F_1$= base na data t_1

$b_2 = S_2 – F_2$ = base na data t_2

No final das contas, o que se busca conquistar, quando se efetua um *hedge* é trocar o risco de mercado (direcional) pelo risco de base (OPERE FUTUROS, 201-). Melhor explicando, o que acontece é a troca de um risco de alta variância e incontrolável por um risco de menor variância e controlável, por meio do qual um comerciante qualquer consegue definir sua margem de lucro.

4.5.2 Razão Ótima de *Hedge*

Conforme os estudos de Hull (2005), a razão ótima de *hedge* consiste em obter um coeficiente h, que é a relação entre o tamanho da posição no mercado futuro e a do mercado à vista, sendo representada pela equação abaixo. No problema, este tipo de *hedge* firma uma variância mínima as oscilações de preço, tal qual dito por Opere Futuros (201-) no item 4.5.1. Consideraremos as deduções a seguir como se fossem feitas para a *commodity* barril de petróleo *WTI*.

$$\mathbf{h = \frac{Nf}{Na}} \qquad \textbf{(4.5.1)}$$

Onde:

h	razão ótima de *hedge*
Nf	número de barris no futuro
Na	número de barris à vista

Quando uma empresa realiza uma operação de *hedge*, Souza, Cunha e Wander (2011) afirmam que o montante obtido com o ativo é dado por:

$$\mathbf{Y = S_1Na + (S_2 - S_1)Na - (F_2 - F_1)Nf} \qquad \mathbf{(4.5.2)}$$

Onde:

Y	montante negociado na operação
$S_2 - S_1$	ΔS
$F_2 - F_1$	ΔF

Considerando a equação 4.5.1, podemos encaixar a variável razão ótima, h, se operarmos o número de barris a vista (Na) na equação 4.5.2 e considerarmos a equação 4.5.3, chegamos à 4.5.4:

$$\mathbf{Y = Sm \times Na} \qquad \mathbf{(4.5.3)}$$

$$\mathbf{Sm \times Na = S_1Na + S_2Na - S_1Na - hNa\Delta F} \qquad \mathbf{(4.5.4)}$$

Onde:

Sm	preço negociado por cada barril

$$\mathbf{Sm = S_2 - h\Delta F} \qquad \mathbf{(4.5.5)}$$

Realizando os devidos ajustes, obtemos definitivamente a equação 4.5.5, que se baseada no preço futuro no instante em que se inicia o *hedge* e os preços dos futuro e *spot* no instante em que se finaliza a operação, obtemos um Sm, que é o preço o qual foi pago por cada barril *WTI*.

Podemos observar abaixo, uma tabela retirada de Hull (2005) exemplificando como se ocorre um *hedge* de compra, fazendo o barril de petróleo *WTI* como exemplo, considerando o contrato futuro da NYMEX que tem a proporção de 1000 barris por

contrato mostrado em 4.3.1, evidenciando a equação 4.5.5 e considerando um *hedge* perfeito, ou seja, h = 1.

Exemplo 1: Risco de base em *hedge* de compra.

Da mesa de operações – 8 de junho
A companhia sabe que vai precisar comprar 20.000 barris de petróleo entre outubro e novembro. O preço corrente do petróleo para dezembro é US$18 por barril.

Estratégia
A companhia:
- em 8 de junho, abre posição longa de 20 contratos de petróleo na Nymex;
- fecha a posição quando acredita que é o momento de comprar o petróleo.

Risco de base
O risco de base surge da incerteza do *hedger* em relação à diferença entre o preço spot e o preço futuro para dezembro no momento em que o petróleo for adquirido.

Resultado
A companhia compra o petróleo em 10 de novembro e fecha seu contrato futuro nessa data. O preço spot foi de US$20 e o preço futuro foi de US$19,10 por barril. Segue-se que:
- base = US$20 – US$19,10 = US$0,90;
- ganho do futuro = US$19,10 – US$18 = US$1,10.

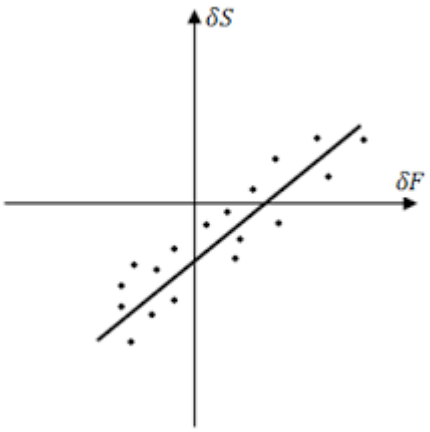
O custo efetivo do petróleo adquirido em 10 de novembro menos o ganho no mercado futuro resulta em: US$20 – US$1,10 = US$18,90 por barril. O que também pode ser escrito como preço futuro inicial mais base: US$18 + US$0,90 = US$18,90 por barril.

FONTE: Adaptado de Hull (2005)

Podemos ressaltar que no Exemplo 1, o preço de compra do contrato futuro foi de US$ 18 por barril e venda, US$ 19,10 conferindo um lucro de US$ 1,10, que como mostrado por Hull (2005) é abatido do preço do barril à vista. Consequentemente, o pagamento real feito pela companhia foi de US$ 18,90 por barril, ao invés de US$ 20,00.

Em linhas gerais, Hull (2005) nos mostra no Gráfico 4, que a razão ótima de hedge é a inclinação da reta ΔF e ΔS, em embate com essa ideia, Neto e Figueiredo (2008), Medeiros, Cunha e Wander (2013), Souza, Cunha e Wander (2011) apresentam que a razão ótima de *hedge*, ROH, pode ser definida através da regressão de diversos modelos pré-estabelecidos além da proposta de Hull (2005), que serão abordados com melhor ênfase no item 4.7.

Gráfico 4: Regressão da variação do preço
à vista contra a variação do preço futuro.



FONTE: Hull (2005)

4.5.3 Efetividade de *Hedge*

De acordo com Fileni (1999), a efetividade de *hedging* é definida como a redução percentual da variância do preço de retorno a partir da implementação do *hedge*, portanto se diz que quanto maior a correlação, maior a redução de risco associado, o que torna o *hedge* mais efetivo. Esta medida, segundo o autor, é apropriada quando o objetivo geral é a mitigação do risco.

Uma maneira simples de se estimar a efetividade pode ser encontrada nos estudos de Ederington (1979), em que a mesma é representada pelo coeficiente de determinação R^2, que será discutido melhor no item 4.9.1.

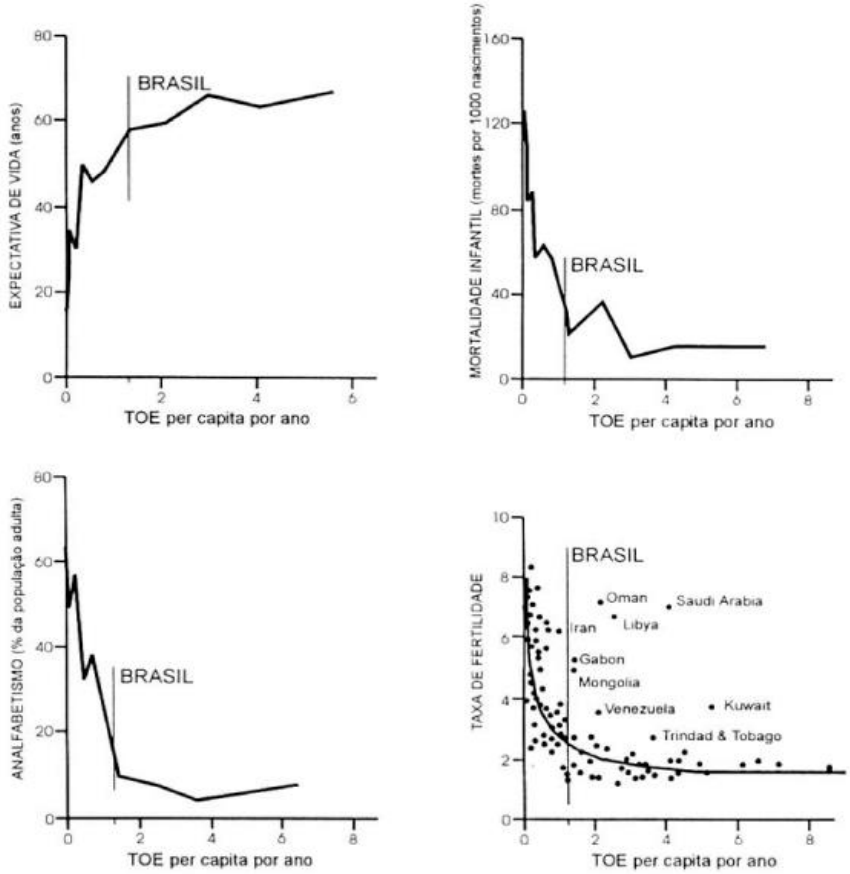
Partindo do princípio da elaboração da reta média proposta por Hull (2005), é praticamente impossível que a correlação entre preços *spot* e futuro seja estabelecida a ponto de haver uma razão ótima h = 1, neste caso R^2 seria de 100%, o que conferiria uma mitigação de todos os riscos.

4.6 GEOPOLÍTICA DO PETRÓLEO

Segundo Goldemberg (1998), a energia é uma peça fundamental para o desenvolvimento, sendo uma das aspirações fundamentais dos países da América Latina,

África e Ásia. Podemos observar no Gráfico 5 abaixo, que apresenta indicadores sociais por consumo de energia comercial *per capita*.

Gráfico 5: Indicadores sociais por energia comercial per capita para diversos países



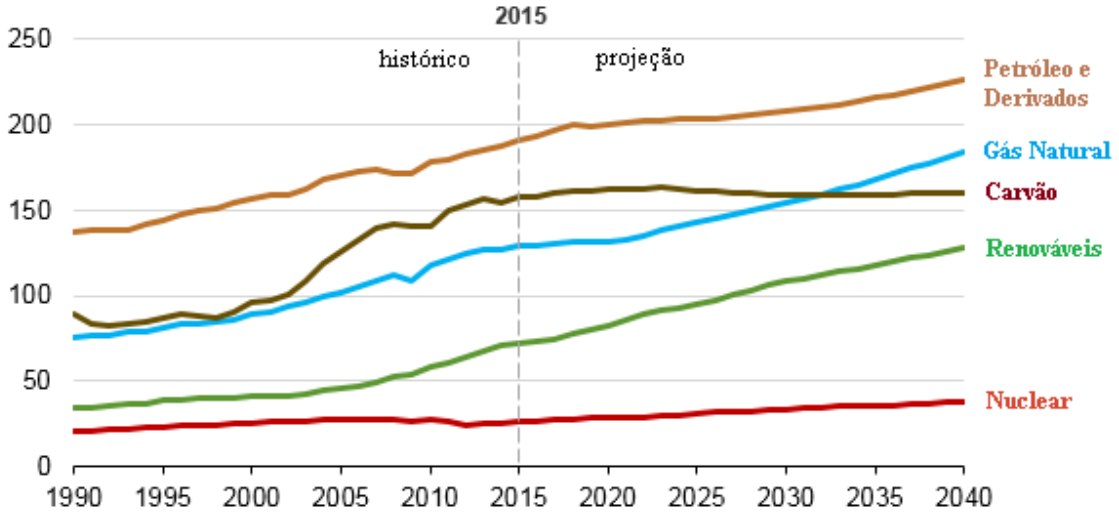
FONTE: Goldemberg (1998)

Se percebe que a descentralização de energia gera efeito positivo na economia dos países, aumentando a expectativa de vida, diminuindo a mortalidade infantil, o analfabetismo e a taxa de fertilidade, o que tem um efeito mais impactante para países de segundo e terceiro mundo.

No geral, EIA (2019) segmenta o consumo de energia em alguns setores, são eles: setor industrial, setor de transporte, setor residencial, setor comercial e setor de energia elétrica. Portanto, além de ser evidenciada no desenvolvimento social é indispensável para a manutenção das atividades internas de qualquer país, tendo isto em vista, Doman (2017) projetam um aumento global no consumo de energia em 28% entre os períodos de 2015 e 2040, guiado por países não-membros da OCDE, Organização para a Cooperação

e Desenvolvimento Econômico, em especial, Índia e China que passam por forte crescimento econômico.

Gráfico 6: Consumo mundial de energia (quadrilhão de BTU) / fonte de energia (1990 – 2040)



FONTE: Adaptado de *U.S Energy Information* (2017)

4.6.1 Disputa por Petróleo

Partindo da importância do petróleo comentada no item 4.6, Ross (2015) nos apresenta em sua obra toda a gama de conflitos geradas pela disputa do mesmo que começaram a tomar proporção nos anos 60 e 70, com a nacionalização do ativo, desenvolvimento de empresas estatais para gerir sua política e união de diversos países do Oriente Médio para a criação da OPEP.

Segundo Celi (2019), na época, os países da OPEP possuíam as maiores reservas mundiais descobertas, o que garantia poder de barganha ante aos seus consumidores (Eua e países europeus). Foi então que em outubro de 1973 ocorreu a primeira crise do petróleo, em que os países árabes exportadores promoveram um embargo aos países aliados de Israel durante a Guerra do *Yom Kipur*, fazendo com que o preço subisse de US$ 3 a US$ 12 no mundo inteiro.

Conforme O Globo (2013), quando a crise acabou, em março de 1974, o déficit comercial recaiu em torno de US$ 11 bilhões nos países desenvolvidos e US$ 40 bilhões

nos subdesenvolvidos, deixando claro para todo o mundo o perigo da situação do Oriente Médio.

De acordo com Celi (2019), outras crises do petróleo sucederam a de 1973, umas delas foi a crise de 1979 que teve como marcos a Revolução Iraniana, que transformou o Irã em uma república islâmica teocrática e a Guerra Irã-Iraque; outra foi a crise de 1991 com a invasão do Kuwait pelo Iraque, cuja questão foi finalizada pela intervenção americana, proclamando a Guerra do Golfo contra o Iraque. Todos esses conflitos geraram subidas abruptas do preço do petróleo e acarretaram consequências nas nações ocidentais, portanto, com o sentimento de evitar futuros embargos e conflitos que os Estados Unidos aumentaram seus investimentos na exploração petrolífera em seu território, desde o primeiro choque do petróleo, afim de mitigar essa dependência dos países do Oriente Médio.

4.6.2 Cenário Atual

De acordo com a Bloomberg Brasil (2018), atualmente, três homens controlam o preço do petróleo, são eles: Donald Trump, presidente dos Eua; Vladimir Putin, presidente da Rússia; e Mohammad bin Salman, príncipe herdeiro da Arábia Saudita. No contexto, a OPEP perdeu sua força, uma vez que as 3 nações citadas ofertam mais petróleo que os demais membros da OPEP.

Conforme a Veja (2013), um estudo inédito nos Eua aponta que as reservas de folhelho em seu território, correspondem a 10% do total de petróleo e 32% do gás natural disponíveis no planeta, o que justifica sua prosperidade como ofertante de petróleo e favorece a agenda econômica americana de largo incentivo à produção, o que Orgaz (2019) diz ocasionar menos gastos em energia pelos consumidores americanos, os quais são um importante pilar econômico.

Em contramão com a ideia supracitada, Bloomberg Brasil (2018) aponta as intenções do príncipe saudita de cortar sua produção afim de aumentar o valor do barril do petróleo, gerando receita necessária para financiar seus ambiciosos projetos de infraestrutura. Segundo Orgaz (2019), os objetivos de corte de oferta propostos pela Arábia Saudita são compartilhados pela Rússia, que necessita do barril do petróleo a um preço mais elevado para cumprir suas metas econômica. Tal marco vem gerando uma boa aproximação entre as duas nações nos últimos anos.

Com tal diferença de agenda apresentada entre as nações que mais ofertam barril de petróleo faz-se importante o uso de *hedge*, pois conforme Mendes (2004) são incertezas como estas que podem balançar os preços e expor os empresários que trabalham com o ativo às situações de risco.

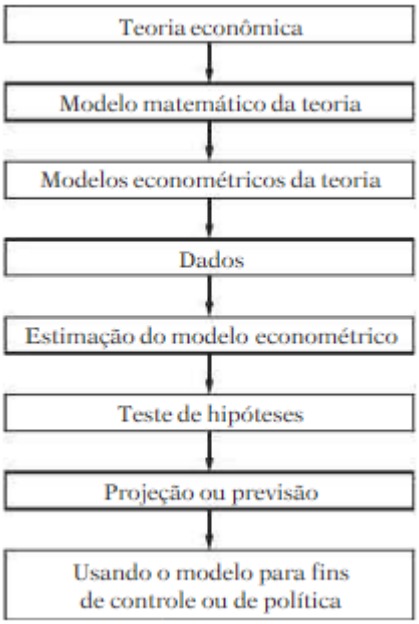
4.7 MODELOS ECONOMÉTRICOS

Segundo Goldberger (1964), a Econometria pode ser entendida como a ciência social em que as ferramentas teóricas econômicas, matemáticas e estatísticas são aplicadas à análise dos fenômenos econômicos. Partindo do pressuposto que a modelagem busca justamente adequar os princípios econométricos à realidade, Gouveia Jr (1999) afirma levando em consideração um modelo, quanto maiores seu uso prático, a sua possibilidade de previsão e similaridade com o fenômeno estuda, melhor ele será considerado.

Gujarati e Porter (2011) afirma que o estudo da relação de duas ou mais variáveis, uma sendo dependente e as demais explanatórias, visa estimar o valor médio da primeira em termos de valores conhecidos das demais; tal método é conhecido como análise de regressão e segundo o mesmo autor, dada a simplicidade é um dos métodos mais utilizados na estimação de modelos.

Granger (1999) sugere que a escolha do melhor modelo deve seguir etapas consecutivas da Figura 3, em que inicialmente deve-se ter uma teoria econômica, ou uma problemática alvo, em seguida deve-se recorrer a um modelo matemático teórico, este então é adaptado para uma visão econométrica, em seguida são inseridos os dados para que haja a estimação dos resultados, os quais são testados através das hipótese econométricas visando uma boa seleção, portanto se obtém uma projeção que é usada para algum fim de controle.

Figura 3: Anatomia da modelagem econométrica



FONTE: Granger (1999)

4.7.1 Mínimos Quadrados Ordinários

Ainda conforme Gujarati e Porter (2011), um dos métodos de análise de regressão mais poderosos existentes é o MQO, ou método dos mínimos quadrados ordinários. De tal maneira a Universidade de Gujarati (2019) diz consistir em uma técnica de otimização matemática que procurar encontrar o melhor ajuste de um conjunto de dados, buscando minimizar a soma dos quadrados dos resíduos. Podemos verificar abaixo tanto a equação matemática das regressões lineares simples (uma variável explanatória) e múltiplas (n variáveis explanatórias) como um exemplo de estimação do primeiro caso no Gráfico 7.

$$\mathbf{Y = \beta_0 + \beta_1 X + ut} \qquad \mathbf{(4.7.1)}$$

Onde:

Y	varíavel dependente
X	variável explanatória
β_0	intercepto da equação
β_1	coeficientes angular
ut	termo de erro

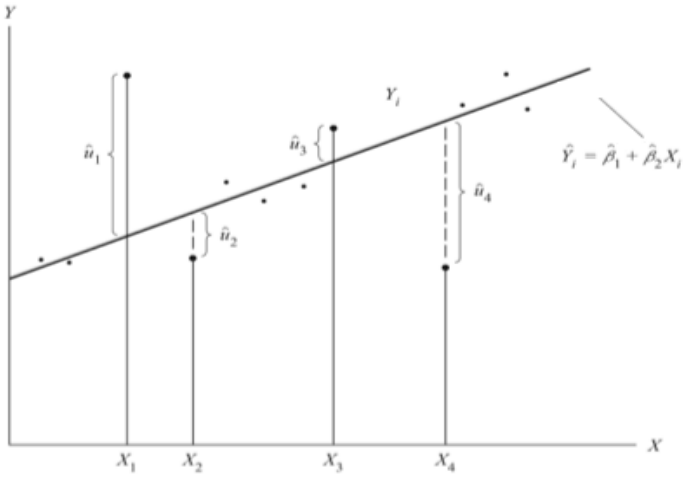
$$\mathbf{Y = \beta_0 + \sum_1^n \beta_i X_i + ut} \qquad \mathbf{(4.7.2)}$$

Onde:

Y	varíavel dependente
Xi	variáveis explanatórias
β_0	intercepto da equação
β_i	coeficientes das variáveis
ut	termo de erro

Para Gujarati (2019), o termo de erro pode representar as lacunas de um modelo, como aquelas variáveis que não foram inseridas por falta de dados, erros de medições dos dados ou mesmo por aleatoriedade do comportamento da amostra, sendo preferível considerar a média de ut = 0. Segundo Minitab (2019), o intercepto além de funcionar como uma forma preditiva da variável dependente quando as explanatórias forem iguais a 0, garante que os valores dos resíduos sejam os mínimos possíveis. Portanto, os modelos viesados são uma consequência da predição caso o valor da constante seja descartado.

Gráfico 7: Critério dos mínimos quadrados



FONTE: Adaptado de Gujarati e Porter (2011)

4.7.2 Séries Temporais

Gujarati e Porter (2011) define as séries temporais como um conjunto de observações dos valores de uma variável que assumem diferentes valores ao longo do tempo, sendo justamente dados importantíssimos para as análises empíricas, o autor também afirma que os intervalos das informações podem ser oferecidos diariamente, semanalmente, mensalmente, anualmente, dentre outros. Davila (201-?) por sua vez apresenta as séries temporais como dados puramente estocásticos, ou seja, possui informações baseadas em eventos estritamente aleatórios.

4.7.2.1 Modelos Dinâmicos

Conforme Haine (2014), a demanda por predição do comportamento futuro de uma série temporal vem aumentando, portanto, são os modelos dinâmicos que se apresentam como uma excelente alternativa. Gujarati e Porter (2011) afirma que a diferença das demais regressões para o dinâmico consiste neste apresentar valores defasados, ou seja, passados. Se a variável explanatória tiver um ou mais valores defasados temos então um modelo de defasagem distribuída, ou *AM* (y), em contrapartida se o modelo conter um ou mais valores defasados da variável dependente temos um modelo autoregressivo, ou *AR* (x). Verificamos abaixo respectivamente, os modelos estatísticos de defasagem distribuída e autoregressivo.

$$\mathbf{Yt = \alpha + \beta_0 Xt + \beta_1 Xt_{-1} + ut} \qquad \mathbf{(4.7.3)}$$

Onde:

Yt	série temporal Y (variável dependente)
Xt	série temporal X (variável explanatória)
βi	coeficientes das variáveis explanatórias
Xt_{-1}	série temporal X defasada (variável explanatória)
ut	termo de erro
α	intercepto

$$Yt = \alpha + \beta Xt + \gamma Yt_{-1} + ut \qquad (4.7.4)$$

Onde:

Yt	série temporal Y (variável dependente)
Xt	série temporal X (variável explanatória)
β	coeficientes da variável Xt
γ	coeficiente da variável Yt_{-1}
Yt_{-1}	série temporal Y defasada (variável explanatória)
ut	termo de erro
α	intercepto

Uma vez que a dependência de Y (variável dependente) por uma X (variável explanatória) dificilmente é imediata, Gujarati e Porter (2011) afirma que frequentemente Y responde a X em lapsos de tempo (defasagem), o que pode ser explicado pelo mesmo autor através de exemplos das seguintes razões: psicológicas, tecnológicas e institucionais.

a) Razões psicológicas: Como resultado da inércia, as pessoas não mudam seus hábitos de consumo imediatamente após uma redução de preço ou aumento de renda e também são hábitos são alterados de maneira diferente para cada pessoa (GUJARATI E PORTER, 2011).

b) Razões tecnológicas: Às vezes o conhecimento imperfeito também responde pela defasagem. Desde a introdução do mercado de computadores em 1970, os preços deles têm caído acentuadamente e como resultado, os consumidores potenciais podem hesitar em comprar esperando queda nos preços ou inovações subsequentes (GUJARATI E PORTER, 2011).

c) Razões institucionais: Por exemplo, razões contratuais podem impedir empresas de mudar de uma fonte de mão de obra ou matéria-prima para outra (GUJARATI E PORTER, 2011).

Podemos verificar de maneira mais precisa como as defasagens são implementadas no Apêndice E, através das Tabelas 19, 20 e 21, que foram formadas com uma fração dos dados a serem apresentados.

O guia de uso do *software Eviews* (2019), acrescenta que existem paralelamente modelos chamados por *autoregressive distributed lag* (*ARDL*), ou modelo

autoregressivos de defasagens distribuída, que apresenta similaridade aos dois modelos apresentados no início do item 4.7.2.1, dado que apresenta defasagens em ambas as variáveis dependentes e explanatórias.

Visando descrever uma equação baseada neste modelo, *Eviews* (2019) nos mostra que a notação *ARDL* (x,y) pode ser implementada, com a variável x representando o número de defasagens da variável dependente e y, o número de defasagens da variável explanatória.

4.7.3 Modelos Estimadores da ROH

Existem inúmeros modelos baseados no MQO passíveis de uso para presumir a ROH, cujo estimativa, de acordo com Hull (2005), é encontrada no parâmetro multiplicador da variável futura. Dados os estudos de Medeiros, Cunha e Wander (2013), um modelo que oferece bons resultados comparativos é o da regressão linear simples, o qual aferimos abaixo; sendo justamente a reta média estimada pelo MQO o valor da sua razão ótima.

Modelo 1 – Regressão Linear Simples

$$\mathbf{St = \alpha + hFt + \mathcal{E}t} \qquad \textbf{(4.7.5)}$$

Onde:

St	Preço Spot no instante t
α	Intercepto da Equação
h	Razão Ótima de Hedge
Ft	Preço Futuro no instante t
Ɛt	Termo de Erro

Nos estudos de Hull (2005) encontramos além de qual parâmetro nos remete a ROH, também uma modelagem base em forma de regressão linear simples. Em contrapartida faz-se uso da primeira diferença das séries temporais para cada valor disposto como diferenciação do modelo 1.

Modelo 2 – Modelo proposto por Hull (2005)

$$\mathbf{\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \mathcal{E}t} \qquad \mathbf{(4.7.6)}$$

Onde:

ΔSt	Preço Spot na primeira diferença no instante t
α	Intercepto da Equação
h	Razão Ótima de Hedge
ΔFt	Preço Futuro na primeira diferença no instante t
Ɛt	Termo de Erro

Myers e Thompson (1989) buscando a melhor forma de conceber o parâmetro h, desenvolveu o modelo 3, em que as variáveis foram mantidas em primeira diferença com o acréscimo de um somatório com valores defasados da série de preços *spot* em forma de variáveis explanatórias, ou seja, faz uso de uma autoregressão.

Modelo 3 – Modelo de Myers e Thompson (1989)

$$\mathbf{St = \alpha + h\Delta Ft + \sum_{i=1}^{p} \beta \Delta St\text{-}i + \mathcal{E}t} \qquad \mathbf{(4.7.7)}$$

Onde:

St	Preço Spot no instante t
α	Intercepto da Equação
h	Razão Ótima de Hedge
ΔFt	Preço Futuro na primeira diferença no instante t
$\sum_{i=1}^{p} \beta \Delta St\text{- i}$	Preços Spot defasados
Ɛt	Termo de Erro

Ainda no trabalho de Myers e Thompson (1989), foi desenvolvida também uma metodologia contendora de defasagens tanto das séries spot quanto das séries futuras, culminando na formulação do modelo 4, que além de possuir variáveis em primeiras diferenças, deve possuir também um número de defasagens p (variável explícita na equação 4.7.6) igual em ambas as séries temporais. O modelo 4 é outro classificado como um tipo de *ARDL*.

Modelo 4 – Modelo de Myers e Thompson (1989) com defasagem no preço futuro

$$\mathbf{\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \sum_{i=1}^{p} \beta \Delta St\text{-}i + \sum_{j=1}^{p} \gamma \Delta Ft\text{-}j + \varepsilon t} \qquad \mathbf{(4.7.6)}$$

Onde:

ΔSt	Preço Spot na primeira diferença no instante t
α	Intercepto da Equação
h	Razão Ótima de Hedge
ΔFt	Preço Futuro na primeira diferença no instante t
$\sum_{i=1}^{p} \beta \Delta St\text{- i}$	Preços Spot defasados
$\sum_{j=1}^{p} \gamma \Delta Ft\text{- j}$	Preços Futuro defasados
εt	Termo de Erro

4.8 ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS PARA REALIZAÇÃO DO *HEDGE*

A investigação séries temporais propriamente ditas é objeto de estudo de muitos pesquisadores e empresas, por possuírem segundo Gonçalves (2018) uma boa extrapolação do futuro. Hull (2005), nos diz que a formulação de uma modelagem parte do pressuposto implícito que o comportamento futuro (a serem estimados) se assemelha aos dados passados (conhecidos).

Afim de se realizar um hedge adequado, os estudos descritos acima são indispensáveis às séries temporais, logo dentre todas as premissas disponíveis à econometria, Myers e Thompson (1989), Neto e Figueiredo (2008) e Neto, Figueiredo e Machado (2009) conduziram suas atividades dando grande relevância a premissa de estacionariedade das séries temporais, em conjunto com a de autocorrelação.

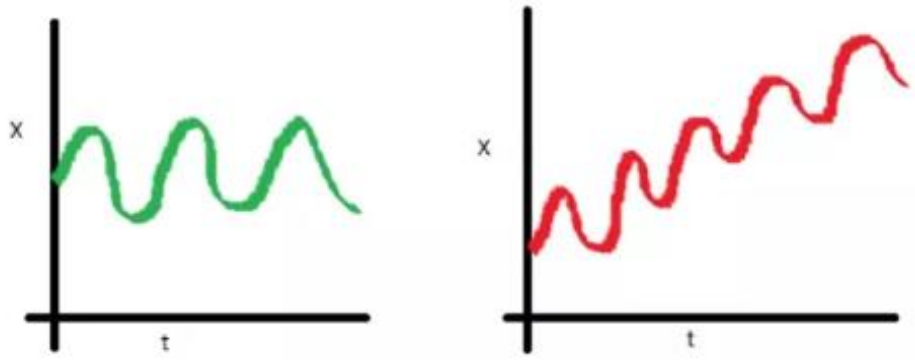
Ambos também citam a sazonalidade, que é vista com mais relevância no trabalho de Neto, Figueiredo e Machado (2009) por ter verificado hedge para safras e entressafras do milho, o qual não confere tanta importância para análise de barril de petróleo, já que conforme o Departamento de Pesquisa e Assuntos Econômicos do Bradesco, DEPEC-Bradesco (2019), o petróleo e seus derivados não possuem sazonalidade na produção, cuja situação é verificada em combustíveis derivados da cana-de-açúcar.

4.8.1 Estacionariedade

O entendimento primordial a respeito de séries temporais estacionárias é dado por Gonçalves (2018), estas os quais são um tipo de série em que a variável em função do tempo comporta-se estocasticamente em torno de uma média e variância constantes. Gujarati (2019) por sua vez menciona a existência de series temporais estacionárias e não estacionárias, afirmando da mesma forma que o primeiro caso tem mais valor prático que o segundo. Podemos então observar no Gráfico 8, um exemplo simples das características de ambos os tipos de séries temporais.

Gráfico 8: Séries temporais com variável X em função de T

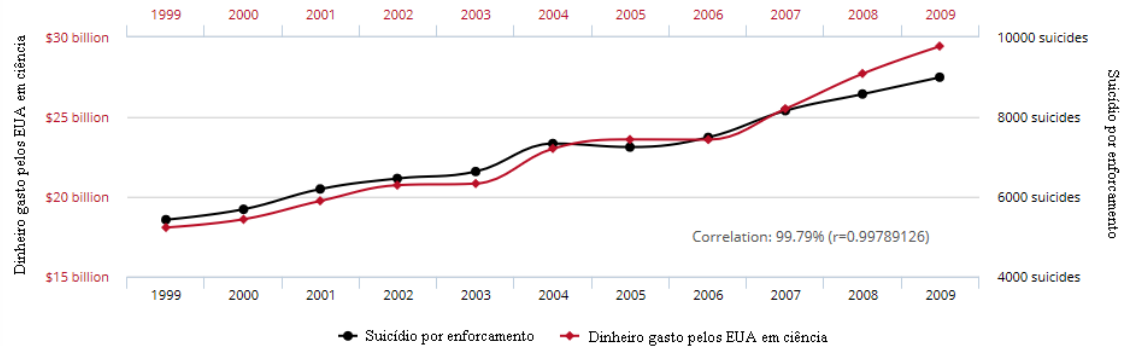
a) Estacionária b) Não estacionária



FONTE: Adaptado de Vasconcellos (2018)

Pode-se dizer que as séries não estacionárias carecem em valor prático, uma vez que Gujarati (2019) descreve que só se pode estudar tal série em um período específico, pois se o período for alterado, há consequentemente uma mudança comportamental da série, impedindo conclusivamente uma generalização adequada. Outro ponto dificultoso da implementação de séries deste tipo é que a regressão de duas ou mais séries não estacionárias pode levar ao fenômeno de regressão espúria, o que é descrito por Yule (1926) como uma alta relação entre as mesmas, o qual não tem sentido. Podemos verificar no Gráfico 9, uma de regressão espúria, em que há uma correlação de 99,79% entre dinheiro gasto pelos Estados Unidos com ciência e suicídios por enforcamento entre os períodos de 1999 a 2009, o que pela teoria acima não deveria haver nenhuma relação.

Gráfico 9: Relação entre o dinheiro gasto pelos EUA em ciência e quantidade de suicídios por enforcamento nos períodos de 1999 a 2009.



FONTE: Adaptado de Rodrigues (2014)

A partir do momento em que se conhece a problemática das séries não estacionárias Gujarati e Porter (2011) e, Myers e Thompson (1989) sugerem que há uma maneira de tornar uma série estacionário utilizando-as em primeira diferença, o que se torna uma prática comum em *commodities* e ações.

A prática de realizar a primeira diferença consiste justamente em modular uma nova série temporal com os dados antigos, em que se implementa um diferencial nas séries em nível, ou I(0); nessa conformidade se deve pegar o valor no instante t e subtrai-lo do t_{-1} e realizar esta atividade sucessivamente até se obter uma série inteira em primeira diferença, ou I(1) (GUJARATI E PORTER, 2011). Podemos verificar como a primeira diferença é implementada no Apêndice F, através das Tabelas 22 e 23, que foram formadas com uma fração dos dados a serem apresentados.

4.8.1.1 Teste de Estacionariedade

Há várias maneiras de se conferir a estacionariedade temporal, dentre estas podem-se destacar a análise gráfica e o teste da raiz unitária, logo Gujarati (2019) cita que a primeira é uma ferramenta rudimentar que consiste justamente em observar o gráfico de uma série temporal e verificar o comportamento dos dados, tal qual a figura do item 4.8.1, entretanto é uma técnica informal e intuitiva, manipulada apenas como ponto de partida, porém dispensável quando se implementam análises mais complexas.

Neto, Figueiredo e Machado (2009) por sua vez, fazem uso do teste de *Dickey-Fuller* aumentado (ADF) para discorrer sobre a teoria da raiz unitária e gerar alguma constatação sobre a estacionariedade.

4.8.1.2 Teste da Raiz Unitária por *ADF*

Afirmar a existência de uma raiz unitária em uma série temporal possui o mesmo fim que dizer que esta não é estacionaria, o que Gujarati (2019) mostra ser uma diferente abordagem para caracterizar um mesmo problema. Gujarati e Porter (2011) partem do princípio da equação abaixo, em que $\rho = 1$ tornam a equação em um modelo de passeio aleatório (série não estacionária) e se encontra de fato um problema de raiz unitária, no entanto se $|\rho| < 1$, ou seja, para um valor absoluto de ρ menor que 1 podemos mostrar um modelo de ruído branco (série estacionária).

$$\mathbf{Yt = \rho Yt_{-1} + ut} \qquad \mathbf{-1 \leq \rho \leq 1} \qquad \mathbf{(4.8.1)}$$

Gujarati e Porter (2011) seguem manipulando a equação 4.8.1 subtraindo Yt_{-1} de ambos os lados da equação citada, de maneira a obter:

$$\mathbf{Yt - Yt_{-1} = \rho Yt_{-1} - Yt_{-1} + ut = (\rho - 1)Yt_{-1} + ut} \qquad \mathbf{(4.8.2)}$$

Podendo também ser escrita, para $\delta = \rho - 1$, como:

$$\mathbf{\Delta Yt = \delta Yt_{-1} + ut} \qquad \mathbf{(4.8.3)}$$

Onde:

Yt	variável dependente
Yt_{-1}	Yt defasado (variável explanatória)
ΔYt	$Yt - Yt_{-1}$
ut	termo de erro

Portanto se $\delta = 0$, Souza, Cunha e Wander (2011) afirmam que prevalece a hipótese nula, ou seja, a série possui raiz unitária e consequentemente é não estacionária.

Se $\delta < 0$, prevalece então a hipótese alternativa, representando uma negação da hipótese nula e da existência de raiz unitária na série, o que culmina em estacionariedade.

Gujarati (2019) então aponta que um teste de raiz unitária foi desenvolvido por Dickey e Fuller, chamado de teste τ (tau), cuja prática consiste em obter a variável estatística τ e compará-la com seus valores críticos, todos fornecidos através de simulação por *softwares* como o *Eviews,* isto posto para τ menor que os valores críticos, constatamos uma série estacionária. Posteriormente, passou a ser conhecido como teste de Dickey-Fuller.

Podemos verificar nos estudos de Samanez, Ferreira e Nascimento (2013) com a Tabela 4, que o tamanho de uma amostra reflete nas quantias dos valores críticos ou níveis de confiança, os quais representam a porcentagem da hipótese nula ainda sim ser aceita. Quando se falam em séries temporais dos barris de petróleo, Dixit e Pindyck (1994) resumem que o barril não consegue acompanhar o nível de confiança de 5% quando apresenta mais de 120 amostras.

Tabela 4: Valores críticos do teste τ da raiz unitária com intercepto.

Tamanho da amostra	Nível de confiança	
	1%	5%
50	−3,58	−2,93
100	−3,51	−2,89
250	−3,46	−2,88
∞	−3,43	−2,86

FONTE: Adaptado de Samanez, Ferreira e Nascimento (2013).

De acordo com Gujarati e Porter (2011), quando os erros (ut) são correlacionados e deseja-se encontrar a raiz unitária utiliza-se o teste de Dickey – Fuller aumentado, ou ADF, que possui todas as etapas do DF com a adição dos valores defasados da variável dependente ΔYt, averiguada na equação 4.8.3. Portanto o ADF trabalhará em cima da regressão abaixo.

$$\mathbf{\Delta Yt = \delta Yt\text{-}1 + \sum_1^n \Delta Yt\text{-}i + ut} \qquad \mathbf{(4.8.4)}$$

Onde:

$\sum_1^n \Delta Yt\text{-}i$	somatório dos valores defasados de ΔYt
$\Delta Yt\text{-}1$	$\Delta Yt\text{-}1 = Yt\text{-}1 - Yt\text{-}2$

4.8.2 Autocorrelação

Conforme Kendall e Buckland (1971), a autocorrelação em séries temporais pode ser definida como uma correlação entre integrantes das observações ordenadas no tempo, o que em outras palavras Gujarati e Porter (2011) dizem ser uma correlação entre os termos de erro (ut) de uma série temporal.

Existem igualmente algumas praticidades terminológicas a respeito do tema, pois alguns autores tratam autocorrelação e correlação serial como sinônimos, já outros como Tintner (1965) estabelecem uma diferença em que o primeiro se trata da correlação entre os erros de uma mesma série e o segundo, de séries diferentes, que possivelmente são passíveis de uma regressão.

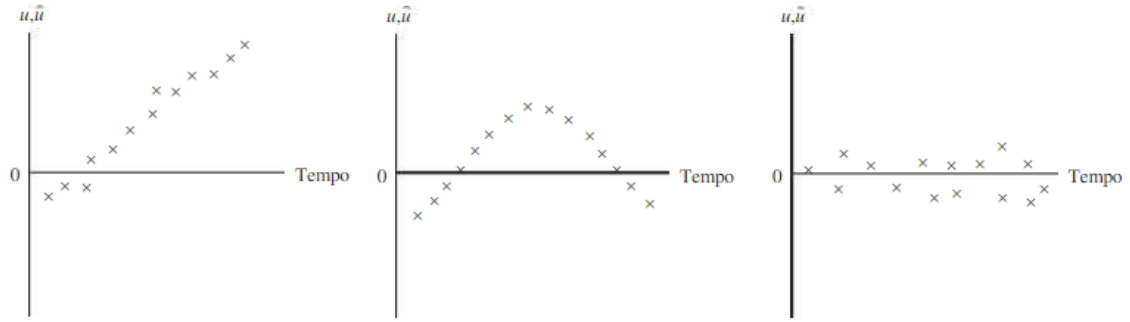
A autocorrelação é tida como um problema para a análise de regressão linear, pois segundo Gujarati (2019), ao se estabelecer um modelo, se pressupõem que seus erros não sejam correlacionados, ou mesmo que o termo de erro em t não deva possuir ligação com o termo de erro em t-1 e assim por diante; sendo a falta de eficiência dos modelos uma consequência direta desta hipótese.

4.8.2.1 Teste de Autocorrelação

Tal qual a estacionariedade, a autocorrelação também possui inúmeros testes afirmativos, são eles o método gráfico e o teste d de Durbin-Watson, isto posto Gujarati e Porter (2011) comentam que o primeiro é uma maneira qualitativa de se obter a resposta através do *plot* dos termos de erro cronologicamente em um gráfico, que pode ser visualizado nas figuras abaixo, em que os Gráficos 10.a e 10.b indicam autocorrelação por apresentaram padrão em seus resíduos (reta crescente e parábola respectivamente), com a Gráfico 10.c sendo a única sem padrão sistemático, o que então nega a hipótese de autocorrelação neste caso em específico.

Gráfico 10: Padrões de presença e ausência de autocorrelação.

a) autocorrelacionado b) autocorrelacionado c) não - autocorrelacionado



FONTE: Adaptado de Gujarati e Porter (2011)

Por outro lado, Neto, Figueiredo e Machado (2009) utilizam o teste de Durbin – Watson para obterem um resultado quantitativo e cabível a respeito do comportamento dos erros das séries temporais em discussão, tanto para autocorrelação quanto para correlação serial.

4.8.2.2 Teste de Durbin-Watson

Para Gujarati (2019), o teste desenvolvido por Durbin e Watson é possivelmente o mais conhecido no que se refere a constatação de autocorrelação em séries temporais, sendo representado pela variável estatística d. Sendo então definido pela razão entre a soma das diferenças elevadas ao quadrado em resíduos sucessivos e a soma residual ao quadrado.

$$\mathbf{d = \sum_2^n (ut - ut\text{-}1)^2 / (\sum_1^n (ut)^2)} \qquad \mathbf{(4.8.5)}$$

Onde:

ut	resíduo do instante t
ut-1	resíduo no instante t-1

Neto e Figueiredo (2008), informa que o teste da variável estatística d tem mais chances de negar a hipótese de autocorrelação quanto mais próximo seu valor for de 2. Portanto se o d de DW for menor que 2 existe evidência de correlação serial positiva e se for maior 2, correlação serial negativa. Por sua vez, Zarzosa (2013) afirma que se

quisermos um critério exigente que negue autocorrelação em séries temporais, pode ser compreendido o intervalo de 0,15 para mais ou para menos de 2.

Quando se possuir uma regressão em que o valor do teste DW for distante de 2, Sapir (1977) conclui que a adição de regressores defasados da variável dependente pode realizar uma aproximação da variável estatística d até 2, o que pode ser explicado por em algumas regressões haver uma real diminuição da dependência dos resíduos entre si ao longo do tempo.

4.9 MEDIDAS DE QUALIDADE DO AJUSTE

Souza, Cunha e Wander (2011) e Neto, Figueiredo e Machado (2009) apresentaram a ideia do tópico como uma forma de critério para selecionar o modelo mais bem ajustado. Gujarati (2019) cita que esses critérios incluem: (1) coeficiente de determinação R^2, (2) R^2 ajustado, (3) critério de informação de Akaike e (4) critério de informação de Schwarz ou Bayseano.

4.9.1 Coeficiente de Determinação R^2

O critério R^2 como visto no item 4.5 pode significar a *performanance* de uma razão ótima de hedge, mas além disso para afins estatísticos Gujarati (2019) diz significar também um grau de ajustamento do modelo, isto posto para $R^2 = 1$ temos um ajuste perfeito e para $R^2 = 0$ não há ajuste.

Para Gujarati e Porter (2011) o problema em torno deste critério é o fato de valores próximos de 1 indicarem possível correlação espúrias como vimos no item 4.8.1, o que torna as hipóteses apresentadas em 4.8 indispensáveis.

Em geral, Gujarati (2019) apresenta que R^2 possui uma desvantagem prática, o qual é causada pela adição de regressores ao modelo, possibilitando o aumento do valor de R^2 repentinamente. Isto acontece por quê o critério representa uma função crescente do número de regressores, consequentemente o método perde poder de seleção modelar passando a ser usado apenas como um dado final. O R^2 pode ser calculado dada a seguinte equação.

$$\mathbf{R^2 = 1 - \frac{SQR}{STQ}} \qquad \textbf{(4.9.1)}$$

$$\mathbf{STQ = \sum_1^n (yi - \bar{y})^2} \qquad \textbf{(4.9.2)}$$

$$\mathbf{SQR = \sum_1^n (yi - \tilde{y})^2} \qquad \textbf{(4.9.3)}$$

Onde:

SQR	Soma dos quadrados dos resíduos
STQ	Soma total dos quadrados
yi	Observação no instante i
$\bar{y}$	Média das observações
$\tilde{y}$	Valor estimado de yi

4.9.2 R^2 ajustado

Gujarati (2019) diz que o R^2 ajustado (= R^2_{ajust}) funciona basicamente como o coeficiente do item 4.9.1, com a diferença de que se é adicionado um fator punitivo para o aumento de regressões, este o qual foi mostrado como uma problemática do R^2. Podemos verificar a equação de $\bar{R}^2$ abaixo.

$$\mathbf{R^2_{ajust} = 1 - \frac{n-1}{n-(k+1)} (1 - R^2)} \qquad \textbf{(4.9.4)}$$

Onde:

n	número da amostra
k	quantidade de regressores incluindo o intercepto

4.9.3 Critérios de Informação

Souza, Cunha e Wander (2011) dissertam que os critérios de informação são amplamente utilizados para seleção de modelos, dentre eles temos o critério de

informação de Akaike (AIC) e o critério de informação de Schwarz ou Bayseano (BIC). Ambos visão minimizar a soma dos quadrados dos resíduos (SQR), entretanto segundo Gujarati (2019), os mencionados impõem penalidades muito mais rigorosas para adição de regressores que o critério R^2_{ajust}.

Conforme Neto, Figueiredo e Machado (2009), o AIC é um forte guia para número de seleção de variáveis explanatórias em uma equação e sob certas condições que já foram discorridas, escolhe-se em outras palavras, o tamanho de uma distribuição de defasagens. Para o mesmo autor, o BIC é um critério alternativo ao AIC, possuindo a mesma interpretação com o diferencial do BIC ter uma penalidade mais rigorosa para coeficientes extras.

Segundo Gujarati (2019), a seleção de modelos dar-se-á por aquele que apresentar os valores mais baixos de AIC e BIC. Pode-se então verificar as fórmulas de ambos, que estão dispostos em função de logaritmo neperiano (ln).

$$\mathbf{lnCIA} = \frac{2k}{n} + \ln\left(\frac{SQR}{n}\right) \qquad \textbf{(4.9.5)}$$

$$\mathbf{lnBIC} = \frac{k}{n} + \ln(n) + \ln\left(\frac{SQR}{n}\right) \qquad \textbf{(4.9.6)}$$

Onde:

SQR	Soma dos quadrados dos resíduos
n	número da amostra
k	quantidade de regressores incluindo o intercepto

Há casos, porém, em que os valores de AIC e BIC indicam modelos diferentes, ou seja, não são ambos os menores para a mesma equação, o que Koehler e Murphree (1987) afirma acontecer em 27% dos casos envolvendo séries temporais, tendo em vista essa situação seus estudos comprovaram que o BIC superou o AIC como método de ajuste de qualidade expressivamente para os *ARDL* (x,y), ou seja, quando se propor a analisar modelos com diferentes defasagens o BIC se tornará preferencial.

4.10 FONTE DE DADOS

As séries temporais utilizadas corresponderam às do barril de petróleo *WTI*, sendo fornecidas pela *U.S. Energy Information Administration* (EIA) para dados de mercado *spot* e pela *NASDAQ* para dados de mercado futuro. O período selecionado pelas séries temporais corresponde entre janeiro de 2015 até junho de 2019.

Um ponto a se destacar é que foram destacados dados dos barris *WTI* com contratos futuros americanos, que são negociados diretamente com a *NYMEX*, pois houve escassez de dados referente ao minicontrato futuro de petróleo negociado na B3.

4.11 *SOFTWARE*

Os *softwares* empregados foram o *Excel* 2016 e um derivado da linha *Eviews*, que disponibiliza licenças de uso anuais para estudantes através de uma versão gratuitas com funcionalidades reduzidas. No geral, o Eviews é um programa de análise econométrica, previsão e simulação de modelos, o que Morais, Stona e Schuck (2016), afirmam ser muito mais que um simples pacote estatístico, uma vez que permite ao usuário atualizar modelos em tempo real conectado com dados da internet, a programação de diversas rotinas computacionais e também a conexão com outros *softwares* como o *Excel* e o Matlab.

Segundo Morais, Stona e Schuck (2016), geralmente, o *Excel* é usado como complementar quando se deseja organizar as séries temporais, portanto essas informações são importadas de modo a gerar um banco de dados no *Eviews*.

Existem vários *softwares* de caráter econométrico, dentre eles o GAUSS, o Maple e o Stata, entretanto o trabalho em questão seguirá antigos estudos sobre a ferramenta de *hedge* que fizeram uso de diversas versões do *Eviews*, o que podemos verificar em Neto e Figueiredo (2008), Neto, Figueiredo e Machado (2009), Souza, Cunha e Wander (2011) e Medeiros, Cunha e Wander (2013).

5 METODOLOGIA

O projeto consiste na quantificação de parâmetros que tem como função auxiliar na tomada de decisões relacionadas à consultoria financeira voltada para os comerciantes de petróleo que busquem a amortização de riscos por meio do instrumento de Hedge, estando baseado na metodologia proposta por Myers e Thompson (1989).

Primordialmente foi feito um levantamento bibliográfico em fontes diversas como livros e artigos científicos, que serviram como base para que se atingisse o objetivo proposto.

Dentre as informações coletadas, foram compilados dados sobre as séries temporais de preços do barril de petróleo *WTI*, mercados *spot* e futuro discorridos no item 4.10, dados estes que funcionaram como *input*, sendo operados pelos *softwares*, *Microsoft Excel* 2016 e *Eviews 10 SV*.

Um ponto interessante por trás do *WTI* é que este foi utilizado, pois seu contrato futuro está disponível tanto na B_3 (bolsa brasileira) quanto na *NYMEX* (bolsa americana), dando uma maior liberdade de negociação.

Em seguida as hipóteses relevantes comentadas no item 4.8 (estacionariedade e autocorrelação) foram testadas afim de descobrir se as séries escolhidas foram aptas para estudo, o que aconteceu por meio do teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e teste de Durbin-Watson, respectivamente.

Após isto, efetuaram-se os cálculos nos modelos econométricos, visando a obtenção da ROH e da performance (R^2), para tal foram escolhidos os modelos do item 4.7.3, que se basearam pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO).

Visando indicar o modelo mais apropriado são feitas uma série de análises quali-quantitativas, dentre elas a primeira é o teste Durbin-Watson, que foi usado novamente para conferir desta vez a correlação serial da regressão, posteriormente foram implementados os critérios de informação descritos no item 4.9, AIC e BIC, com o pressuposto da escolha do melhor modelo.

Seguindo o roteiro descritos categoricamente se torna possível a obtenção da equação que se encaixe melhor com a realidade e consequentemente obtenção do *hedge* mais adequado, bem como quanto de risco se mitigou com a operação.

5.1 TESTE DA RAIZ UNITÁRIA

Após a seleção das séries temporais, a próxima etapa consistiu no teste destas por meio do Dickey-Fuller aumentado, para tal as séries dos preços spot e futuro foram testadas separadamente e o resultado consistiu em comparar a variável estatística τ de cada uma com seus respectivos valores críticos do *ADF* à 1%, 5% e 10%, logo de acordo com Gujarati (2019), no item 4.8.1.2, foi esperado que um τ menor que os valores críticos mencionados negassem a hipótese nula da raiz unitária.

Se as séries não possuíssem característica estacionaria em nível, ou I(0), fazia-se necessário utilizar o teste para primeira diferença I(1) como explicado por Gujarati e Porter (2011), no item 4.8.1.

5.2 TESTE DE AUTOCORRELAÇÃO

O próximo passo foi utilizado como complementar ao ADF, de modo que se implementou o teste DW. Nesta etapa foi testada a autocorrelação das séries analisadas afim de se evitar as problemáticas descritas por Gujarati (2019) em 4.8.2.

5.3 MODELOS ECONOMÉTRICOS

Uma vez validadas, as séries foram processadas por meio dos modelos econométricos selecionados, os quais estão compreendidos no item 4.7.3, abrangendo respectivamente: regressão linear simples, modelo proposto por Hull (2005), modelo de Myers e Thompson (1989) e o modelo de Myers e Thompson assumindo defasagens na variável futura (1989). Logo a variável *h*, razão ótima de hedge, que é o coeficiente do termo futuro, foi a meta pela qual os modelos foram implementados.

Em relação as defasagens, $\sum_{i=1}^{p} \beta \Delta$St-i e $\sum_{j=1}^{p} \gamma \Delta$Ft-j , sabe-se que o *Eviews 10 SV* possui limitação de 12 defasagens por série temporal, logo essa condição foi levada adiante permitindo escalar até 12 equações para ambas as proposições de Myers e Thompson (1989).

5.4 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE MODELOS

5.4.1 Teste de Durbin-Watson

Observou-se novamente a variável estatística *d*, cujo valor teve que se encaixar nos padrões de Neto e Figueiredo (2008), e Zarsosa (2013), no item 4.8.2.2, desta vez como critério seletivo aplicado diretamente aos modelos, afim de se negar a hipótese de correlação serial descrita por Tintner (1965), no item 4.8.2

5.4.2 Medidas de Qualidade

Depois que se encontrou a informação de quais equações dos modelos foram geradas e validadas, aplicaram-se os critérios informativos de Akaike (AIC) e de Schwarz (BIC) pois Souza, Cunha e Wander (2011), no quesito 4.9.3 disseram que esses são capazes de predizer o melhor modelo, e partir disto ter conhecimento da sua razão ótima de *hedge* e sua eficiência em reduzir a variância (R^2). O coeficiente R^2_{ajust} foi, segundo Gujarati (2019), em 4.9.2, usado de forma a corrigir a problemática apresentada por R^2 em 4.9.1.

5.5 APLICAÇÃO DO *HEDGE*

Tendo em vista a ROH obtida, foi elaborada uma aplicação para os meses de julho e agosto de 2019, afim de se calcular a quantidade de contratos futuros WTI que foram negociados, bem como a amortização conferida a cada um desses meses com o *hedge*, sendo estes resultados, o preço médio pago por cada barril de petróleo à vista e o montante da operação.

Os dados utilizados foram retirados das mesmas fontes citadas no item 4.10, so que desta vez para os meses subsequentes de julho e agosto, o que será observado com mais clareza no item 6.5.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conjunto dos dados, programas e referencial teórico culminou na execução de uma gestão de risco para o barril do petróleo *WTI* que por meio do parâmetro *h*, ou razão ótima de hedge e do parâmetro R^2, fornecedor da porcentagem de redução de risco em função de *h*, obteve-se como resultado o modelo mais bem ajustado a realidade.

Os dados, que foram compilados nos *softwares* e utilizados no trabalho envolveram as séries de preços futuros e *spot* do barril do petróleo *WTI* no período citado no item 4.10, os quais foram dispostas respectivamente nos Apêndices A e B, objetivando uma estimativa que buscasse proteger contra as oscilações dos preços do barril até o fim de 2019.

6.1 TESTE DA RAIZ UNITÁRIA DAS SÉRIES SPOT E FUTURA EM NÍVEL I(0)

Considerando que os modelos já foram escolhidos, os quais estão dispostos no item 4.7.3, o primeiro passo foi o testar a hipótese da raiz unitária nas séries temporais, objetivando constatar a sua nulidade ou a estacionariedade das séries.

Primeiramente foi realizado o ADF para as séries temporais futura e spot em nível ou I(0), e o que se constatou na tabela 8 foram as variáveis estatísticas τ maiores que os valores críticos com $\tau_{(futuro)} = -2{,}4029$ e $\tau_{(spot)} = -2{,}7831$, portanto não se pode negar a existência de raiz unitária nas séries.

Vale ressaltar que os resultados foram estimados com a melhor defasagem possível baseadas no critério de informação BIC, assim com a seleção automática imposta, o teste para o preço futuro obteve $\tau_{(futuro)}$ para $p = 0$ e preço spot, $\tau_{(spot)}$ para $p = 1$, o que podemos verificar na Tabela 5.

Tabela 5: Teste *ADF* com constante e tendência, com defasagem p = 1 aplicada a série de preços *spot* e p = 0 aplicada a série de preços futura do barril do petróleo *WTI*, considerando I(0).

Variável estatística τ do teste ADF		Preço Futuro	Preço Spot
		-2,4029	-2,7831
Valores Críticos	1%	-4,1408	-4,1445
	5%	-3,4969	-3,4986
	10%	-3,1775	-3,1785

FONTE: Autor

6.2 TESTE DA RAIZ UNITÁRIA PARA I(1) E DE AUTOCORRELAÇÃO

Com a não-estacionariedade averiguada para as séries temporais I(0), fez-se necessária a estimativa dos dados em primeira diferença, ou I(1), o que culminou na elaboração das Tabelas 6 e 7. Assim sendo foram verificados o $\tau_{(futuro)}$ = - 6,6822 e $\tau_{(spot)}$ = - 5,4982, os quais consistem em marcações menores em relação aos valores críticos. Portanto as séries em I(1) foram constatadas como estacionárias.

Verificamos também que em ambas as Tabelas 6 e 7, a variável estatística d, é tanto próxima a 2 como também está dentro da faixa de exigência apresentada por Zarzosa (2013) em 4.8.2.2, fortalecendo o resultado de ausência de raiz unitária e indicando a ausência de autocorrelação. Outro ponto interessante é o fato de ambas as séries I (1) terem o ADF estimado com a seleção automática do *Eviews* considerando o critério de informação BIC, tal qual feito para aquelas em nível e o resultado expresso foi que ambas possuem o melhor valor de τ p = 0.

Tabela 6: Teste ADF com constante e tendência e *Durbin-Watson*, com defasagem, p = 0 aplicada a série de preços *spot* do barril do petróleo *WTI*, considerando I(1).

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-5.498235	0.0002
Test critical values:	1% level	-4.144584	
	5% level	-3.498692	
	10% level	-3.178578	
Durbin-Watson stat	1.870468		

FONTE: Autor

Tabela 7: Teste ADF com constante e tendência e Durbin-Watson, com defasagem, p = 0 aplicada a série de preços futura do barril do petróleo *WTI,* considerando I(1).

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-6.682228	0.0000
Test critical values:	1% level	-4.144584	
	5% level	-3.498692	
	10% level	-3.178578	
Durbin-Watson stat	1.969635		

FONTE: Autor

A conclusão direta acerca do teste de ADF nos dados foi que todas as séries com variáveis em nível não obteriam resultado contundente. Assim, nem o Modelo 1 nem o Modelo 3 poderiam ser manuseados, entretanto podemos notar que o Modelo 2 é idêntico ao Modelo 1 com a diferença que o primeiro possui variáveis em primeira diferença, portanto foi um substituto compatível.

Segundo Myers e Thompson (1989), no item 4.8.1, se houver evidências de raiz unitária em St e Ft, e não constatá-la em I(1), a estimativa do Modelo 3 pode proceder como anteriormente, porém fazendo uso de ΔSt e ΔFt no lugar das variáveis em nível. Para todo caso apenas a variável *spot* encontrava-se em nível, logo deduziu-se um novo Modelo 3, o qual visualizamos abaixo, para que seguissem as estimativas.

Modelo 3 – Modelo de Myers e Thompson (1989) ajustado

$$\mathbf{\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \sum_{i=1}^{p} \beta \Delta St\text{-}i + \mathcal{E}t} \qquad \mathbf{(6.0)}$$

6.3 ELABORAÇÃO DAS EQUAÇÕES BASEADAS DOS MODELOS

Uma vez aplicados o teste de raiz unitária nas séries *spot* e futura do barril de petróleo *WTI*, formularam-se as equações dos modelos, dispostos na metodologia, cujas razões ótimas de hedge (h) foram analisadas. Com toda a variedade de defasagens e modelos foram possíveis elaborar 26 equações que estão dispostas abaixo.

$$\mathbf{St = \alpha + hFt} \qquad \mathbf{(6.1)}$$

Podemos verificar que a equação 6.1 simbolizou a única a conter variáveis em nível I(0) , portanto foi empregada por representar o modelo de regressão mais conhecido com o objetivo de fornecer um resultado rememorativo com as demais equações validadas.

$$\mathbf{\Delta St = \alpha + h\Delta Ft} \qquad \mathbf{(6.2)}$$

Por outro lado, a equação 6.2 foi baseada no modelo Hull (2005) contendo as variáveis em primeira diferença; sendo possível perceber certa semelhança desta com os modelos autoregressivos, cujas equações são idênticas se considerarmos p = 0.

Como apontado por Eviews (2019) e Gujarati e Porter (2011), no referencial teórico pelo item 4.7.2.1, as equações autoregressivas de defasagem distribuída podem também ser identificadas de acordo com o número de defasagens para cada série, isto posto as equações apresentadas nos Apêndices C e D podem ser descritas abaixo, respectivamente, em notação de *AR* e de *ARDL*, então as equações dos modelos 3 ajustado e 4 foram abordados respectivamente na Tabela 8.

Tabela 8: Representação das equações em notação de autoregressão, *AR* (x) e autoregressão de defasagem distribuída, *ARDL* (x,y).

a) Equações do modelo 3 ajustado

Equação	AR(x)
Equação 6.3	AR(1)
Equação 6.4	AR(2)
Equação 6.5	AR(3)
Equação 6.6	AR(4)
Equação 6.7	AR(5)
Equação 6.8	AR(6)
Equação 6.9	AR(7)
Equação 6.10	AR(8)
Equação 6.11	AR(9)
Equação 6.12	AR(10)
Equação 6.13	AR(11)
Equação 6.14	AR(12)

b) Equações do modelo 4

Equação	ARDL(x,x)
Equação 6.15	ARDL(1,1)
Equação 6.16	ARDL(2,2)
Equação 6.17	ARDL(3,3)
Equação 6.18	ARDL(4,4)
Equação 6.19	ARDL(5,5)
Equação 6.20	ARDL(6,6)
Equação 6.21	ARDL(7,7)
Equação 6.22	ARDL(8,8)
Equação 6.23	ARDL(9,9)
Equação 6.24	ARDL(10,10)
Equação 6.25	ARDL(11,11)
Equação 6.26	ARDL(12,12)

FONTE: Autor

6.4 RAZÃO ÓTIMA DE *HEDGE* E EFETIVIDADE DE *HEDGE*

Após a aplicação das equações descritas, cada uma obteve um coeficiente (h) e com o objetivo de compará-los se confeccionaram as tabelas 12, 13 e 14 com a performance (R^2 e ajustado) e os critérios de seleção AIC, BIC e DW. Dito isto, procurou-se afirmar qual a ROH do barril de petróleo *WTI* mais encaixada com a realidade.

6.4.1 Resultado dos Modelos 1 e 2

Tabela 9: Razão ótima de *hedge* e performance do barril de petróleo *WTI* para as equações dos Modelos 1 e 2

Equação	p	h	R²	R² ajustado	AIC	BIC	DW
Equação 6.1	0	0,966	0,913	0,911	4,9915	5,0652	2,09
Equação 6.2	0	0,530	0,369	0,356	5,4164	5,4908	2,32

FONTE: Autor

Por mais que a equação 6.1 não seja válida por apresentar séries I (0), foi utilizada na Tabela 9, pois ambos modelos são parecidos, podendo então oferecer uma comparação adequada. Observa-se que embora as séries I (1) da equação 6.2 sejam válidas, seus resultados aparentes foram inferiores aos da outra equação, uma vez que apresentou critérios de informação maiores que os da equação 6.1 e seu resultado *DW* distante de 2, estando fora do critério estabelecido por Zarzosa (2013), no item 4.8.2.2 do referencial teórico. Logo a equação 6.2 não é a mais adequada ao problema.

Por fim, a razão ótima de hedge das equações foram respectivamente $h_1 = 0,966$ e $h_2 = 0,530$, apresentando eficiência, dada pelo R^2 ajustado, de 91,3% e 36,9%. Em função disso, se a equação 6.1 fosse válida teria uma capacidade de mitigação de risco quase 2,5 vezes maior que a equação 6.2.

6.4.2 Resultado do Modelo 3 Ajustado

Tabela 10: Razão ótima de *hedge* e performance do barril de petróleo *WTI* para as equações do Modelo 3 ajustado

Equação	p	h	R^2	R^2 ajustado	AIC	BIC	DW
Equação 6.3	1	0,529	0,418	0,395	5,3829	5,4954	2,75
Equação 6.4	2	0,518	0,425	0,389	5,4236	5,5751	2,83
Equação 6.5	3	0,491	0,409	0,356	5,4713	5,6625	2,79
Equação 6.6	4	0,489	0,404	0,335	5,5192	5,5192	2,76
Equação 6.7	5	0,493	0,412	0,326	5,5725	5,8454	2,75
Equação 6.8	6	0,470	0,366	0,252	5,6299	5,9448	2,71
Equação 6.9	7	0,510	0,394	0,263	5,5759	5,9337	2,49
Equação 6.10	8	0,523	0,468	0,331	5,5137	5,9152	2,76
Equação 6.11	9	0,521	0,470	0,309	5,5879	6,0339	2,77
Equação 6.12	10	0,470	0,475	0,289	5,6380	6,1295	2,77
Equação 6.13	11	0,472	0,467	0,247	5,696	6,2345	2,77
Equação 6.14	12	0,426	0,467	0,211	5,7345	6,3196	2,65

FONTE: Autor

A partir da inserção de defasagens na série *spot* verificamos o surgimento de uma grande quantidade de resultados a serem colacionados, na Tabela 10. Antes de tudo, foi perceptível que as equações tiveram um curto range nas respostas das ROHs, que estiveram compreendidas entre aproximadamente 0,43 e 0,53, e nas das eficiências, que estiveram entre 0,42 e 0,47, colaborando assim para uma decorrência mais precisa.

Com tudo, a defasagem que melhor simbolizou o modelo 3 ajustado foi a p = 1, em razão de possuir os menores critérios de informação (*AIC* = 5,3829 e *BIC* = 5,4954), ante as demais equações. O resultado apresentado foi de caráter previsível dado que os critérios *AIC* e *BIC* aumentaram para cada aumento de defasagem, o que tornou a análise mais simples. Portanto se obteve como melhor ROH, h_1 = 0,529 e eficiência de 39,5%.

Mesmo que se tivesse obtido um resultado contundente do modelo, o teste *DW* sinalizou em direção contrária, tendo em vista que todos as equações apresentaram o valor da variável estatística *d* bem distante de 2, estando compreendidos entre 2,49 e 2,83, opondo-se inclusive ao range disponível por Zarzosa (2013) no item 4.8.2.2 do referencial. Outro fato importante, foi que o subsequente aumente de defasagens não foi suficiente para reduzir o *DW* como indicado por Sapir (1977), no item 4.8.2.2.

6.4.3 Resultado do Modelo 4

Tabela 11: Razão ótima de *hedge* e performance do barril de petróleo *WTI* para as equações do Modelo 4

Equação	p	h	R^2	R^2 ajustado	AIC	BIC	DW
Equação 6.15	1	0,499	0,782	0,769	4,4370	4,5871	2,83
Equação 6.16	2	0,479	0,851	0,834	4,1506	4,3779	2,11
Equação 6.17	3	0,473	0,848	0,823	4,2293	4,5352	2,07
Equação 6.18	4	0,480	0,876	0,848	4,1065	4,4926	2,12
Equação 6.19	5	0,483	0,879	0,843	4,1950	4,6628	1,97
Equação 6.20	6	0,463	0,872	0,822	4,2836	4,8347	1,88
Equação 6.21	7	0,512	0,910	0,865	3,9682	4,6042	2,02
Equação 6.22	8	0,501	0,925	0,878	3,9090	4,6316	2,17
Equação 6.23	9	0,493	0,933	0,880	3,9287	4,7396	2,19
Equação 6.24	10	0,450	0,940	0,881	3,9247	4,8237	1,86
Equação 6.25	11	0,438	0,941	0,865	4,0204	5,0133	1,84
Equação 6.26	12	0,387	0,952	0,872	3,9095	4,9961	2,19

FONTE: Autor

Nas equações da Tabela 11 encontramos o mesmo número de defasagens para as duas séries temporais, o que nos permitiu obter uma grande quantidade de resultados como quanto para o modelo anterior. Podemos ver também um curto range entre as ROHs, compreendidas entre 0,38 e 0,50, e entre as eficiências, que estiveram compreendidas de 76,9% e 88%. Um ponto a se ressaltar a respeito destas eficiências foi que apresentaram um resultado muito expressivo, em que a validação dos parâmetros póstumos poderia indicar uma equação de alta *performance*.

Como não foi possível indicar a melhor equação visualizando rapidamente o AIC e o BIC, posto que as equações que continham os menores valores mencionados não eram os mesmos, necessitou-se fazer uma seleção prévia dentre as equações, o que não foi muito dispendioso tendo em vista que o teste de *DW* apresentou resultado positivo na maioria das proposições.

Respeitando o limite imposto no item 4.8.2.2, selecionaram-se as variáveis estatísticas *d* que possuíram valor dentro do critério mencionadas, portanto as equações

6.15, 6.22, 6.23, 6.25 e 6.26 foram dispensadas, ajudando então a construir a Tabela 12, que apresentou as equações válidas com seus respectivos critérios de informação.

Tabela 12: Equações do Modelo 4 que apresentaram DW dentro da estimativa

Equação	p	AIC	BIC
Equação 6.16	2	4,1506	4,3779
Equação 6.17	3	4,2293	4,5352
Equação 6.18	4	4,1065	4,4926
Equação 6.19	5	4,1950	4,6628
Equação 6.20	6	4,2836	4,8347
Equação 6.21	7	3,9682	4,6042
Equação 6.24	10	3,9247	4,8237

FONTE: Autor

A próxima seleção compreendeu em eliminar as defasagens que apresentaram as maiores cotações dos critérios informativos. A equação 6.20 foi a primeira retirada por apresentar AIC = 4,2836 e BIC = 4,8347, ou seja, os valores mais altos. Posteriormente a equação 6.19 também foi eliminada por conter AIC = 4,1950 e BIC = 4,6628, os quais corresponderam às terceiras maiores marcações. A última equação retirada da Tabela 12 foi a 6.17, por apresentar BIC = 4,5352, que muito embora fosse o terceiro menor, esteve em conjunto com AIC = 4,2293, correspondente da segunda maior marcação para tal critério.

Remanesceram então 4 equações, que foram separadas na tabela 16, sendo elas a 6.16, 6.18, 6.21 e 6,24. Da mesma forma como foi feita na tabela acima, a Tabela 13 a seguir também conteve os respectivos *AIC* e *BIC* de maneira a seguir com as comparações cabíveis.

Tabela 13: Equações do Modelo 4 que apresentaram os *AIC* e *BIC* proporcionalmente mais baixos

Equação	p	AIC	BIC
Equação 6.16	2	4,1506	4,3779
Equação 6.18	4	4,1065	4,4926
Equação 6.21	7	3,9682	4,6042
Equação 6.24	10	3,9247	4,8237

FONTE: Autor

Como podemos observar, a variação dos critérios de informação entre si, dadas as defasagens demostrou caráter inversamente proporcional, o que dificultou a análise por não haver convergência entre os dados. Segundo Koehler e Murphree (1987), em 4.9.3, em casos de indefinição entre AIC e BIC, como constatado acima, se torna preferível a utilização do critério de Schwarz. Portanto, pela similaridade dos resultados, as equações 6.16 e 6.18 se apresentaram como os melhores ajustes ao problema, o que foi representado na tabela 14.

Tabela 14: Razão ótima de *hedge* e performance do barril de petróleo *WTI* para as equações 6.16 e 6.18

Equação	p	h	R^2	R^2 ajustado	AIC	BIC	DW
Equação 6.16	2	0,479	0,851	0,834	4,1506	4,3779	2,11
Equação 6.18	4	0,480	0,876	0,848	4,1065	4,4926	2,12

FONTE: Autor

Observou-se que o Modelo 4 foi o melhor dentre os demais apresentados graças ao resultado dos seus critérios e por ter apresentado as equações com solução mais próxima à realidade. A razão ótima de hedge média obtida foi de h = 0,480, a efetividade de mitigação de risco esteve entre 83,4% e 84,8%, o teste DW foi compreendido dentro da faixa estabelecida por Zarzosa (2013), no item 4.8.2.2 e os critérios de informação foram proporcionalmente os mais baixos, sendo que pra p = 2 obtivemos AIC = 4,1506 e

BIC = 4,3779, e para p = 4, AIC = 4,1065 e BIC = 4,4926. Representaram-se diretamente do Apêndice D as equações 6.16 e 6.18, com seus respectivos coeficientes obtidos via Eviews 10 SV.

$$\Delta St = 0{,}043 + 0{,}479\Delta Ft - 0{,}733\Delta St_{-1} + 0{,}907\Delta Ft_{-1} - 0{,}250\Delta St_{-2} + 0{,}490\Delta St_{-2} \quad (6.27)$$

$$\Delta St = 0{,}056 + 0{,}480\Delta Ft - 0{,}847\Delta St_{-1} + 0{,}987\Delta Ft_{-1} - 0{,}676\Delta St_{-2} + 0{,}755\Delta Ft_{-2} - 0{,}502\Delta St_{-3} + 0{,}489\Delta Ft_{-3} - 0{,}154\Delta St_{-4} + 0{,}379\Delta Ft_{-4} \quad (6.28)$$

De maneira comparativa, se verificarmos os valores de efetividade em demais literaturas, observamos que o estudo de Neto e Figueiredo (2008) para boi gordo obteve algo em torno de 90%; já Neto, Figueiredo e Machado (2009), quando estudaram o *hedge* para a cultura do milho obtiveram uma efetividade de 70%; e por fim, Souza, Cunha e Wander (2011) obtiveram resultado de aproximadamente 80% quando também estudaram as séries de boi gordo. Então, podemos constatar que o valor resultante do vigente trabalho, de aproximadamente 84%, esteve condizente com o obtido por outros autores.

6.5 APLICAÇÃO DO *HEDGE*

Algumas considerações iniciais foram enunciadas para a elaboração desta aplicação:

1. Um importador compra mensalmente 100.000 barris de petróleo WTI.
2. O que ocorreu, neste estudo, nos finais dos meses de julho e agosto.
3. Os dados para os preços futuros foram obtidos pela *NASDAQ* e para os preços *spot* foram obtidos pelo EIA
4. Foi dispensável a adição dos dados das séries temporais de julho para estimar agosto.
5. Assumiu-se que o hedge foi realizado no início de cada mês.

6. Conforme o item 4.3.1, os futuros de petróleo WTI dispostos na NYMEX resumem a proporção de 1000 barris por contrato futuro.
7. A ROH utilizada foi a resultante do trabalho vigente.
8. Todas os tributos e taxas foram desconsiderados.
9. Com todos os dados dispostos, o objetivo desta aplicação foi obter a quantidade de contratos futuros WTI que foram negociados, bem como o preço médio pago por cada barril de petróleo à vista e o montante da operação.

Tabela 15: Importação de barris de petróleo de julho e agosto.

Mês	Julho	Agosto
Futuro 1 (US$/b)	59,09	53,95
Futuro 2 (US$/b)	58,58	55,1
Spot 2 (US$/b)	57,35	54,81
Na (b)	100.000	100.000
h	0,48	

FONTE: Autor

NOTAS: (b) = barril, (US$) = dólares, 1 = início do mês e 2 = final do mês

De início, construímos a Tabela 15 com os dados primordiais e depois recorremos as equações explícitas no item 4.5.2, que foram dispostas abaixo respectivamente.

$$\mathbf{h} = \frac{\boldsymbol{Nf}}{\boldsymbol{Na}} \qquad \textbf{(4.5.1)}$$

$$\mathbf{Sm} = \mathbf{S_2} - \mathbf{h\Delta F} \qquad \textbf{(4.5.5)}$$

Uma vez aplicadas as variáveis apresentadas na Tabela 15, temos que o número de barris futuros para julho foi de 48.000 barris e o preço médio pago foi de 57,59

dólares/barril, o que comparado com o preço *spot* ao fim do mês gerou um gasto adicional de 0,24 centavos de dólar/barril. Sabendo que cada contrato futuro de barril de petróleo *WTI* equivale a 1000 barris, foram comprados 48 contratos para efetuar a operação.

Da mesma forma foi feito para agosto, em que o número de barris futuros foi de 48.000 e o preço médio pago foi de 54,26 dólares/barril, gerando economia de 55 centavos de dólar/barril. Foram então comprados 48 contratos para tal operação.

Para efetuar o cálculo do valor resultante de cada mês e do montante obtido com os dois juntos, fez-se uso da equação abaixo, que surgiu a partir de uma análise dimensional entre (Sm-Spot2) e Na, pois ao visualizarmos a dimensão de ambos ante uma multiplicação obtivemos o retorno financeiro de cada mês em US$. Todos os dados obtidos com as desigualdades matemáticas foram dispostos na Tabela 16.

$$\textbf{Retorno} = (S_2 - Sm) \times Na \qquad \textbf{(6.5.1)}$$

$$\textbf{Montante} = \textbf{Retorno (Agosto)} - \textbf{Retorno (Julho)} \qquad \textbf{(6.5.2)}$$

Tabela 16: Resultados obtidos da aplicação sobre os meses de julho e agosto: Número de barris futuros, número de contratos futuros, preço médio pago por barril e economia gerada.

Dados	Julho	Agosto
Nf (b)	48.000	48.000
CFs	48	48
Sm (US$/b)	57,59	54,26
Spot 2 (US$/b)	57,35	54,81
Sm - Spot 2 (US$/b)	-0,24	0,55
Retorno (US$)	-24.000	55.000
Montante (US$)	31.000	

FONTE: Autor

7 CONCLUSÃO

Dentre as constatações feitas quanto às hipóteses de estacionariedade e autocorrelação, concluiu-se que ambas as séries careciam em estacionariedade para I (0), portanto, foi necessário torná-las em I (1) para que os testes fossem refeitos e se observou a implementação tanto de séries estacionarias como ausência de autocorrelação quando submetidas em primeira diferença.

Após validadas, as séries temporais submeteram-se a regressões nos 4 modelos apresentados, culminando na dedução de 26 equações, que foram analisados primordialmente pelo teste de Durbin-Watson, afim de negar correlação serial. Os modelos que foram aprovados, selecionaram-se através dos critérios de informação AIC e BIC, o que gerou um conflito inicial, uma vez que AIC e BIC determinavam equações diferentes, logo foi ressaltada a importância do BIC e superioridade ante ao critério de Akaike. Portanto, dada a similaridade dos resultados, as equações 6.16 e 6.18 foram escolhidas como as que mais bem representavam a realidade.

De fato, cada equação das 26 apresentou uma razão ótima de *hedge* e uma efetividade diferente, mas graças aos resultados fornecidos pelos testes praticados foram escolhidas as melhores, sendo deduzidas pelas equações 6.16 e 6.18, os quais forneceram uma ROH aproximada de 48% e uma efetividade média por volta dos 84%.

A efetividade em si constatou a importância da realização do *hedge* para uma comercialização mais controlada por apresentar uma redução de variância bastante significativa e manter o preço em uma faixa mais segura, o que pode ser comprovado na aplicação, posto que as oscilações de preço se reduziram, culminando em um custo de 24 centavos/barril para o mês de julho e uma economia de 55 centavos/barril para o mês de agosto. Leva-se em consideração também que a aplicação teria tido resultados mais fascinantes se os meses evidenciados tivessem sofrido de oscilações mais brusca, dado quem sabe algum fator geopolítico, o que tende a ser um motivo forte para o crescimento de demanda dos negociantes pela ferramenta em evidência.

Vale ressaltar que pela vasta dimensão da econometria, inúmeros modelos, estudos e hipóteses ainda podem ser testados dando margem para o desenvolvimento de trabalhos futuros dentro da área, de modo a contribuir para os estudos de mitigação de risco financeiro das *commodities* negociadas em bolsa de mercadorias e futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Lauro. **Derivativos**: Definição, Emprego e Risco. 5. ed. São Paulo, 2016. 64 p.

40% de um barril de petróleo viram diesel e 18% gasolina após o refino. **Larco**, 2018. Disponível em: http://www.larcopetroleo.com.br/noticias/40-de-um-barril-de-petroleo-viram-diesel-e-18-gasolina-apos-o-refino/. Acesso em: 12 de agosto de 2019.

Banco Central do Brasil. **Bolsas de mercadorias e futuros**. Bcb. [201-?]. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/acessoinformacao/legado?url=https:%2F%2Fwww.bcb.gov.br%2FPre%2Fcomposicao%2Fbmf.asp. Acesso em: 15 Set. 2019.

Bloomberg Brasil. **Só três homens controlam preço do petróleo – e cada um deles quer algo diferente**. *InfoMoney*. 2018. Disponível em: https://www.infomoney.com.br/mercados/so-tres-homens-controlam-preco-do-petroleo-e-cada-um-deles-quer-algo-diferente/. Acesso em: 3 Nov. 2019.

BOBROVA, Darya**.** ***Brent*** **e** ***WTI*****: quais são as diferenças?** FBS, 2018. Disponível em: https://ptfbs.com/analytics/tips/brent-e-wti-quais-são-as-diferenças-9580. Acesso em: 10 de agosto de 2019.

CELI, Renata. **Crise do Petróleo: o que foi, fases e consequências!** Stoodi. 2019. Disponível em: https://www.stoodi.com.br/blog/2019/04/16/crise-do-petroleo-o-que-foi/. Acesso em: 28 Nov. 2019.

CME GROUP. *NYMEX Rulebook. Wilmington*, capítulo 200, 2009. 6 p.

DAVILA, Victor H. L. **Introdução às séries temporais**. [201-?]. 51 slides. Disponível em: https://www.ime.unicamp.br/~hlachos/MaterialSeries.pdf. Acesso em: 19 Set. 2019.

DEPEC - BRADESCO. **Petróleo, derivados e combustíveis**. 2019. 100 slides. Disponível em: www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_petroleo_e_derivados.pdf. Acesso em: 4 Out. 2019.

DIXIT, A.; PINDYCK, R. ***Investment under uncertainty***. *New Jersey*: *Princeton University Press*, 1994.

DOMAN, Linda. ***Today in energy***. *U.S Energy Information Administration*. 2017. Disponível em: https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=32912. Acesso em: 3 Nov. 2019.

DOWNEY, M. **Oil 101**. 1.ed. *New York: Wooden Table Press LLC*, 2009.

EDERINGTON, L. H. *The hedging performance of the new futures markets*. ***Journal of Finance***. vol.34, n.1, p.157–170, 1979.

EVIEWS. ***Autoregressive distributed lag (ARDL) models***. Disponível em: http://www.eviews.com/help/helpintro.html#page/content/ardl-Autoregressive_Distributed_Lag_(ARDL)_Models.html. Acesso em: 1 de outubro de 2019.

Eviews 10. *Student Version Lite*. Irvine: *IHS Global Inc*, 2019. Disponível em: http://www.eviews.com/EViews10/EViews10Univ/evuniv10.html.

FILENI, Dener Hollanda. **O risco de base, a efetividade do hedging e um modelo para estimativa de base: uma contribuição ao agronegócio do café em Minas Gerais**. Lavras, 1999. 137 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras.

GRANGER, Clive W. J. ***Empirical modeling in economics***. Reino Unido: Cambridge *University Press*, 1999. p. 58.

GOLDBERGER, Arthur S. ***Econometric theory***. Nova York: *John Wiley & Sons*, 1964. P. 1.

GOLDEMBERG, José. **Energia e desenvolvimento**. Estud. av., São Paulo, v. 12, n. 33, p.7-15, 1998. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141998000200002&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 26 de setembro de 2019.

GONÇALVES, Leonardo. **Características das séries temporais**. Abg Consultoria. 2018. Disponível em: https://www.abgconsultoria.com.br/blog/caracteristicas-das-series-temporais/. Acesso em: 26 Set. 2019.

GOUVEIA JR, Amauri. **O conceito de modelo e sua utilização nas ciências do comportamento: breves notas introdutórias**. Revista de estudos de psicologia, Campinas – SP, 1999. 4p.

GUJARATI, Damodar. **Econometria: princípios, teoria e aplicações práticas**. São Paulo: Saraiva, 2019.

GUJARATI, Damodar; PORTER, Dawn. **Econometria básica**. 5. Ed. São Paulo: AMGH, 2011.

HAINE, Lucas Lopes Santos. **Modelos lineares dinâmicos aplicados em séries temporais de captação da caixa econômica federal por poupança**. 2014. 15p. (Monografia) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade de Brasília, Brasílio, 2014.

HULL, J**. Fundamentos dos mercados futuros e de opções**. 4.ed. Marco Aurélio Teixeira. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 2005.

IPEA. **O que é? – Mercado *Spot***. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2006. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2099:catid=28&Itemid=23. Acesso em: 3 de setembro de 2019.

KENDALL, Maurice G.; BUCKLAND, William R**.** ***A dictionary of statistical terms***. *New York: Hafner Publishing Company*, 1971. p.8.

KOEHLER, Anne B; MURPHREE, Emily S. *A comparison of the Akaike and Schwarz criteria for selecting model order*. ***Journal of the Royal Statistical Society***, Miami, v. 37, n. 2, p. 187-195.

KPMG. **A saudável gestão de risco na comercialização de *commodities***. 2018. Disponível em: <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2018/06/a-saudavel-gestao-de-riscos-na-comercializacao-de-commodities.html>. Acesso em: 17 de maio de 2019.

KURT, Daniel. ***Benchmark Oils: Brent Blend, WTI and Dubai***. Investopedia, 2019. Disponível em: https://www.investopedia.com/articles/investing/102314/understanding-benchmark-oils-brent-blend-wti-and-dubai.asp. Acesso em: 10 de agosto de 2019.

LAMOUNIER, Wagner Moura. **Comportamento dos preços no mercado "*spot*" de café do Brasil: Análise nos domínios do tempo e da frequência**. Viçosa, v. 1, 2001. 207 p. Monografia (Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa.

MEDEIROS, João Antônio Vilela; CUNHA, Cleyzer Adrian; WANDER, Alcido Elenor. Razão ótima de *hedge* para soja em Goiás e Mato Grosso. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, n.1, p. 128 – 136, 2013.

MELLO, M.R. 1984. **Geoquímica do Petróleo**. CENPES/PETROBRÁS. 257p.

MENDES, Andrea Faissol. **Mercado Futuro de Petróleo: Origem e Desenvolvimento**. 2004. 45 f. Monografia de Bacharelado. Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

Microsoft Office Excel. *Version* 16.0. Redmond: *Microsoft*, 2016. Disponível em: https://www.microsoft.com/pt-br/p/office-365-home/cfq7ttc0k5dm?icid=mscom_marcom&activetab=pivot%3aoverviewtab.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia no Mundo 2015 – 2016**. Brasília: 2017.

MORAIS, I. A. C. de; STONA, F.; SCHUCK, G. **Econometria Aplicada no *EViews*®**. Porto Alegre: FEE, 2016.

MYERS, R.; THOMPSON, S. *Generalised optimal hedge ratio estimation*. ***American Journal of Agricultural Economics***, Saint Paul, v. 71, n. 4, p. 858-868, 1989.

NETO, Odilon José de Oliveira; FIGUEIREDO, R. S. Análise das operações de *hedge* do boi gordo no mercado futuro da BM&F para o estado de Goiás. **Revista Gestão e Planejamento**, Salvador, v. 9, n. 1, p. 77-93, 2008.

NETO, Odilon José de Oliveira; FIGUEIREDO, R. S.; MACHADO, A. G. Efetividade de hedge e razão ótima de *hedge* para cultura do milho no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 115-138, 2009.

NETO, Odilon José de Oliveira; MAIA, Leonardo Caixeta de Castro; REZENDE, Simone Oliveira. **Risco de base de *cross hedge***: uma revisão. In: CONGRESSO UFU DE CONTABILIDADE. 2015. 1. ed, Uberlândia, 2015. 19 p.

New York Mercantile Exchange (*NYMEX*): ***New York-based commodity futures exchang*e**. CFI. [20-]. Disponível em: https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/trading-investing/new-york-mercantile-exchange-nymex/. Acesso em: 9 Set. 2019.

Opep mergulha o mundo na crise do petróleo nos anos 70, causando recessão. **O Globo**. 2013. Disponível em: https://acervo.oglobo.globo.com/fatos-historicos/opep-mergulha-mundo-na-crise-do-petroleo-nos-anos-70-causando-recessao-10230571. Acesso em: 4 Dez. 2019.

O que é? - Mercado *Spot*. **IPEA**. 2006. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2099:catid=28&Itemid=23. Acesso em: 5 Out. 2019.

O uso dos contratos futuros para proteção (*hedge*) de seus investimentos. **ADVFN**. [20-]. Disponível em: https://br.advfn.com/investimentos/futuros/protecao-hedge. Acesso em: 29 Ago. 2019.

Oil spot markets. ***Invest Oil***. [20-]. Disponível em: https://www.invest-oil.co.uk/article/oil-spot-markets.html. Acesso em: 17 Set. 2019.

ORGAZ, Cristina. **Quais países produzem mais petróleo e o que isso representa no xadrez mundial**. BBC News. 2019. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/internacional-49763991. Acesso em: 19 Nov. 2019.

PINTO, Edemir. **Mercados Derivativos**. São Paulo: BM&F, 2007. 64p.

REIS, Thiago. **Por que o Brasil importa petróleo?** O Petróleo, 2018. Disponível em: https://www.opetroleo.com.br/por-que-o-brasil-importa-petroleo. Acesso em: 11 de agosto de 2019.

REIS, Thiago. **Preço *spot*: o que é e como funciona esse tipo de operação?** Suno. 2019. Disponível em: https://www.sunoresearch.com.br/artigos/preco-spot/. Acesso em: 19 Set. 2019.

Risco de Base. **Opere futuros**. [201-]. Disponível em: https://www.operefuturos.com.br/hedge/risco-de-base/. Acesso em: 9 Out. 2019.

RODRIGUES, Mauro. **Correlações espúrias**. Economista - X. 2014. Disponível em: http://economistax.blogspot.com/2014/05/correlacoes-espurias.html. Acesso em: 10 Out. 2019.

ROSS, Michael. **A maldição do petróleo**: Como a riqueza petrolífera molda o desenvolvimento das nações. 1. ed. Porto Alegre: Citadel, 2015. 320 p.

SAMANEZ, Carlos Patrício; FERREIRA, Léo da Rocha; NASCIMENTO, Carolina Caldas do**. Avaliação da opção de troca de combustível no carro brasileiro flex: um estudo por região geográfica usando teoria de opções reais e simulação estocástica**. Prod., São Paulo, v. 24, n. 3, p. 628-643, setembro. 2014.

SAPIR, Andre. *Use of the Durbin-Watson statistic with lagged dependent variables*. ***Metroeconomica***, v. 29, p. 169-172, fevereiro 1977.

SERAFIN, Tiago. **A importância do contrato**. Administradores. 2019. Disponível em: https://administradores.com.br/artigos/a-importancia-do-contrato. Acesso em: 19 Set. 2019.

Série temporal futura do barril de petróleo WTI. Nova York: *NASDAQ*. Disponível em: https://www.nasdaq.com/market-activity/commodities/cl%3Anmx. Acesso em: 17 de agosto de 2019.

Série temporal *spot* do barril de petróleo WTI. Washington: *U.S. Energy Information Administration* (*EIA*). Disponível em: https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm. Acesso em: 11 de agosto de 2019.

SOUZA, Rodrigo da Silva; CUNHA, Cleyzer Adrian; WANDER, Alcido Elenor. **Efetividade e razão ótima de hedge para operações de boi gordo em Goiás**. In: CONGRESSO DA SOBER, 49°. 2011, Belo Horizonte. 18 p.

TINTNER, Gerhard. ***Econometrics***. Nova York: *John Wiley & Sons*, 1965.

TOKYO STOCK EXCHANGE. **Bolsa de arroz de Dojima**. Disponível em: https://www.jpx.co.jp/dojima/pt/index.html. Acesso em: 13 de agosto de 2019.

VASCONCELLOS, Paulo. **O que são séries temporais e como aplicar em *Machine Learning***. *Medium*. 2018. Disponível em: https://medium.com/techbloghotmart/o-que-

são-séries-temporais-e-como-aplicar-em-machine-learning-6ea5d94bec78. Acesso em: 28 Set. 2019.

VEJA. **Reservas de xisto representam 10% do petróleo mundial**. VEJA. 2013. Disponível em: https://veja.abril.com.br/economia/reservas-de-xisto-representam-10-do-petroleo-mundial/. Acesso em: 4 Nov. 2019.

VILLAR. **Petróleo: Fonte de Energia – matéria prima**. 2008. Disponível em: http://hoje.unisul.br/petroleo-fonte-de-energia-materia-prima/>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

YULE, G.U. *Why do we sometimes get nonsense correlarion between time series? A study in sampling and the nature of series.* ***Journal of the Royal Statistical Society***, v.89, p. 1-64, 1926.

ZARZOSA, Pilar. **Teste de raiz unitária de Dickey-Fuller**. 2013. (12m43s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=14Tks1IstOE. Acesso em: 08 out. 2019.

APÊNDICE A – Série de Preços Futuro do Barril de Petróleo *WTI*

Tabela 17: Série temporal futura

Ano/Mês	2015	2016	2017	2018	2019
Janeiro	48,24	33,62	52,81	64,73	53,79
Fevereiro	49,76	33,75	54,01	61,64	57,22
Março	47,6	38,34	50,6	64,94	60,14
Abril	59,63	45,92	49,33	68,57	63,91
Maio	60,3	49,1	48,32	67,04	53,5
Junho	59,47	48,33	46,04	74,15	58,47
Julho	47,12	41,6	50,17	68,76	
Agosto	49,2	44,7	47,23	69,8	
Setembro	45,09	48,24	51,67	73,25	
Outubro	46,59	46,86	54,38	65,31	
Novembro	41,65	49,44	57,4	50,93	
Dezembro	37,04	53,72	60,42	45,41	

FONTE: Autor

APÊNDICE B – Série de Preços *Spot* do Barril de Petróleo *WTI*

Tabela 18: Série temporal Spot

Ano/Mês	2015	2016	2017	2018	2019
Janeiro	47,22	31,68	52,5	63,7	51,38
Fevereiro	50,58	30,32	53,47	62,23	54,95
Março	47,82	37,55	49,33	62,73	58,15
Abril	54,45	40,75	51,06	66,25	63,86
Maio	59,27	46,71	48,48	69,98	60,83
Junho	59,82	48,76	45,18	67,87	54,66
Julho	50,9	44,65	46,63	70,98	
Agosto	42,87	44,72	48,04	68,06	
Setembro	45,48	45,18	49,82	70,23	
Outubro	46,22	49,78	51,58	70,75	
Novembro	42,44	45,66	56,64	56,96	
Dezembro	37,19	51,97	57,88	49,52	

FONTE: Autor

APÊNDICE C – Conjunto de Equações Geradas pelo Modelo 3 Ajustado

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \varepsilon t \quad (6.3)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \varepsilon t \quad (6.4)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \beta_3\Delta St\text{-}_3 + \varepsilon t \quad (6.5)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \beta_3\Delta St\text{-}_3 + \sum_{i=4}^{4} \beta i\Delta St\text{-}i + \varepsilon t \quad (6.6)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \beta_3\Delta St\text{-}_3 + \sum_{i=4}^{5} \beta i\Delta St\text{-}i + \varepsilon t \quad (6.7)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \beta_3\Delta St\text{-}_3 + \sum_{i=4}^{6} \beta i\Delta St\text{-}i + \varepsilon t \quad (6.8)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \beta_3\Delta St\text{-}_3 + \sum_{i=4}^{7} \beta i\Delta St\text{-}i + \varepsilon t \quad (6.9)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \beta_3\Delta St\text{-}_3 + \sum_{i=4}^{8} \beta i\Delta St\text{-}i + \varepsilon t \quad (6.10)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \beta_3\Delta St\text{-}_3 + \sum_{i=4}^{9} \beta i\Delta St\text{-}i + \varepsilon t \quad (6.11)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \beta_3\Delta St\text{-}_3 + \sum_{i=4}^{10} \beta i\Delta St\text{-}i + \varepsilon t \quad (6.12)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \beta_3\Delta St\text{-}_3 + \sum_{i=4}^{11} \beta i\Delta St\text{-}i + \varepsilon t \quad (6.13)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St\text{-}_1 + \beta_2\Delta St\text{-}_2 + \beta_3\Delta St\text{-}_3 + \sum_{i=4}^{12} \beta i\Delta St\text{-}i + \varepsilon t \quad (6.14)$$

APÊNDICE D – Conjunto de Equações Geradas pelo Modelo 4

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \varepsilon t \quad (6.15)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{2} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{2} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.16)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{3} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{3} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.17)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{4} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{4} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.18)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{5} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{5} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.19)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{6} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{6} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.20)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{7} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{7} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.21)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{8} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{8} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.22)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{9} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{9} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.23)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{10} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{10} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.24)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{11} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{11} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.25)$$

$$\Delta St = \alpha + h\Delta Ft + \beta_1\Delta St_{-1} + \gamma_1\Delta Ft_{-1} + \sum_{i=2}^{12} \beta i\Delta St\text{-}i + \sum_{j=2}^{12} \gamma j\Delta St\text{-}j + \varepsilon t \quad (6.26)$$

APÊNDICE E – Adicionando defasagem em séries temporais

Tabela 19: Séries temporais *spot* e futuro
entre setembro e dezembro de 2018

Data	Futuro	Spot
dez/18	45,41	49,52
nov/18	50,93	56,96
out/18	65,31	70,75
set/18	73,25	70,23

FONTE: Autor

Tabela 20: Adição de valores defasados da
variável *spot*

Data	Futuro	Spot	Spot - 1
dez/18	45,41	49,52	56,96
nov/18	50,93	56,96	70,75
out/18	65,31	70,75	70,23
set/18	73,25	70,23	-

FONTE: Autor

Tabela 21: Estabelecimento de uma série temporal
Spot - 1

Data	Futuro	Spot	Spot - 1
dez/18	45,41	49,52	56,96
nov/18	50,93	56,96	70,75
out/18	65,31	70,75	70,23

FONTE: Autor

APÊNDICE F – Aplicando a primeira diferença, I (1), em séries temporais

Tabela 22: Séries temporais *spot* e futuro em nível, I (0), entre setembro e dezembro de 2018

Séries	Data	Futuro	Spot
I(0)	dez/18	45,41	49,52
	nov/18	50,93	56,96
	out/18	65,31	70,75
	set/18	73,25	70,23

FONTE: Autor

Tabela 23: Séries temporais *spot* e futuro em nível, I (1), entre setembro e dezembro de 2018

Séries	Data	Futuro	Spot
I(1)	dez - nov	-5,52	-7,44
	nov - out	-14,38	-13,79
	out - set	-7,94	0,52

FONTE: Autor