

**THIAGO GORSKI PINTO**

**Precificação de estrutura call spread de Ibovespa para o produto COE**

**São Paulo**

**2018**

**THIAGO GORSKI PINTO**

**Precificação de estrutura call spread de Ibovespa para o produto COE**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para conclusão do MBA em Engenharia Financeira

Orientador: Prof. Dr. Danilo Zucolli Figueiredo

São Paulo

2018

*Os homens criam as ferramentas,  
e as ferramentas recriam os homens*

*John Culkin / Marshall McLuhan*

## RESUMO

O Certificado de Operações Estruturadas (COE) começou a ser negociado no Brasil em janeiro de 2014 e está em crescente número de emissões. Esse produto permite mesclar instrumentos financeiros de renda fixa e renda variável semelhante às notas estruturadas dos mercados internacionais. Sua principal característica é oferecer ao investidor diferentes cenários de rentabilidade através de estruturas predefinidas para uma grande variedade de classes de ativos objeto, inclusive internacionais, como por exemplo: índices de bolsa, moedas, *commodities* e taxas de juros. No cenário econômico atual, onde existe uma constante queda dos juros básicos e consequente queda dos spreads bancários, o COE pode ser uma boa alternativa tanto para o investidor, que busca uma maior rentabilidade quanto para o emissor, permitindo uma maior diversificação na cesta de produtos ofertados. Entre as diversas estruturas autorizadas para a emissão do COE, esse trabalho aborda a estrutura denominada *Call Spread*. São apresentados os conceitos de precificação dos instrumentos financeiros que a compõem, além de exemplos dos cálculos de *accrual* e *MtM* para a estrutura. Por fim, utilizando os dados de uma emissão real de mercado é apresentado um exemplo de precificação de um COE com estrutura do tipo *Call Spread* de Ibovespa.

Palavras-chave: Mercado Financeiro, Derivativos, Engenharia Financeira

## **ABSTRACT**

The “Certificado de Operações Estruturadas (COE)” started traded in Brazil in January 2014 and is in a growing number of issues. This product allows the merging of financial instruments like fixed income and derivatives similar to the structured notes of the international markets. The main feature is offer to the investor different profitability scenarios through predefined structures for a wide variety of asset classes, including international, such as stock market indexes, currencies, commodities and interest rates. In the current economic scenario, where there is a constant drop in basic interest rates and a consequent fall in bank spreads, COE can be a good alternative for the investor, who seeks bigger profitability and the issuer allowing a better basket diversification of products offered. Among the various structures authorized to issue the COE, this paper addresses for the structure called Call Spread. Presents the concepts of pricing financial instruments that compose it, as well as examples of accrual and MtM calculations for the structure. Finally, is presented a pricing example for a real market issue from a COE under Ibovespa Call Spread structure type.

**Keywords:** Financial Market, Derivatives, Financial Engineering

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Payoff do Call Spread .....	22
Figura 2 - ETTJ da curva de juros pré-fixada .....	27
Figura 3 – Interpolação Exponencial.....	30
Figura 4 – Distribuição Normal .....	33
Figura 5 - Critérios de Remuneração .....	40
Figura 6 - Formação de preço do COE .....	42
Figura 7 - Gráfico Cenário de Estresse .....	54
Figura 8 - Planilhas do Arquivo Excel.....	55
Figura 9 - Planilha de Volatilidade Histórica.....	56
Figura 10 - Planilha para Curva Pré .....	57
Figura 11 - Planilha para IBOVESPA .....	58
Figura 12 - Planilha para COE Call Spread.....	59
Figura 13 - Planilha COE - Cálculo de Accrual e MTM .....	60
Figura 14 - IBOVESPA - Diário e Limitador.....	61
Figura 15 - Gráfico de Payoff – Acrual e MtM .....	61
Figura 16 - Planilha COE - Cenários de Estresse – Ponta 2 e Ponta 3.....	62
Figura 17 - Planilha COE - Cenários de Accrual, MtM e Estresse .....	62
Figura 18 - Gráfico de Payoff - Cenário de Estresse.....	62
Figura 19 - Cálculo Diário - Accrual e MtM.....	63
Figura 20 - Cálculo Diário - Instrumento de Renda Fixa - Accrual e MtM .....	63
Figura 21 - Cálculo Diário - Instrumento de Opção Call Comprada - Accrual e MtM	64
Figura 22 - Cálculo Diário - Instrumento de Opção Call Vendida - Accrual e MtM ....	64
Figura 23 - Rentabilidade COE x CDB .....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tributação do COE.....	14
Tabela 2 - Comportamento do Preço da Opção.....	20
Tabela 3 - Cenários de rentabilidade do Call Spread.....	22
Tabela 4 - Cenários de Estresse .....	37
Tabela 5 - Caracteristica do COE.....	39
Tabela 6 - Cenários de Rentabilidade .....	40
Tabela 7 - Instrumento COE - ponta 1 .....	43
Tabela 8 - Instrumento COE - ponta 2 .....	43
Tabela 9 - Instrumento COE - ponta 3 .....	43
Tabela 10 - Data base para cálculo.....	44
Tabela 11 - Taxa Pré-fixada dias corridos.....	47
Tabela 12 - Taxa Pré-fixada dias úteis.....	48
Tabela 13 - Variáveis para MtM .....	51
Tabela 14 - Pu do COE em Cenário de Estresse.....	54
Tabela 15 - Comparativo COE x CDB.....	65

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>B3</b>	Brasil, Bolsa, Balcão
<b>CDB</b>	Certificado de depósito bancário
<b>COE</b>	Certificado de operações estruturadas
<b>CVM</b>	Comissão de Valores Mobiliários
<b>FIXING</b>	Data de apuração dos preços e parâmetros que irão definir o valor a ser liquidado na data de vencimento
<b>IBOVESPA</b>	Principal índice da bolsa de valores do Brasil (agora denominada B3)
<b>MtM</b>	Mark to Market
<b>PAYOUT</b>	Rentabilidade final da opção (ou produto estruturado)
<b>PU</b>	Preço unitário
<b>STRIKE</b>	Preço de exercício da opção

## SUMÁRIO

1. O produto COE .....	12
1.1. DIE.....	14
1.2. Nota de negociação.....	14
1.3. Suitability .....	15
1.4. Objetivos.....	15
1.5. Organização da Monografia.....	16
2. Instrumentos financeiros.....	17
2.1. Renda fixa.....	17
2.2. Opção Vanilla .....	18
3. A estrutura Call Spread.....	21
4. Conceitos de precificação.....	23
4.1. Accrual.....	23
4.1.1. Renda fixa pré-fixada .....	23
4.1.2. Opção <i>call vanilla</i> .....	24
4.1.3. COE .....	25
4.2. MtM.....	26
4.2.1. Curva de juros pré-fixada em reais .....	26
4.2.2. Interpolação exponencial para a curva de juros pré-fixada .....	28
4.2.3. Renda fixa pré-fixada .....	31
4.2.4. Modelo de Black e Scholes para opção <i>call vanilla</i> .....	32
4.2.4.1. Volatilidade .....	34
4.2.4.2. Taxa livre de risco.....	36
4.2.5. COE .....	36
4.2.6. Cenário de estresse .....	37
5. Precificação de estrutura call spread de Ibovespa para o produto COE ...	39

5.1. Definições .....	40
5.2. Accrual.....	44
5.2.1. Renda fixa pré-fixada .....	44
5.2.2. Call vanilla.....	45
5.2.3. Pu de Accrual do COE .....	46
5.3. MtM.....	47
5.3.1. Taxa interpolada da curva de juros pré-fixada .....	47
5.3.2. Renda fixa pré-fixada .....	48
5.3.3. Call vanilla.....	49
5.3.3.1. Volatilidade histórica .....	49
5.3.3.2. Black e Scholes .....	50
5.3.4. Pu de MtM do COE .....	53
5.3.5. Pu de MtM do COE em cenário de estresse .....	53
6. Aplicação .....	55
6.1. Coleta e tratamento dos dados .....	55
6.2. Organização e método.....	55
6.3. Planilha de Volatilidade Histórica.....	56
6.4. Planilha da Curva Pré .....	57
6.5. Planilha do IBOVESPA.....	57
6.6. Planilha COE .....	58
6.6.1. Cálculo de Accrual e MtM .....	59
7. Conclusão.....	66
REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICE A: Código VBA – Cálculo Opção.....	71
APÊNDICE B: Código VBA – Cálculo Renda Fixa .....	73
APÊNDICE C: Código VBA – Cálculo Volatilidade Histórica.....	74
APÊNDICE D: Código VBA – Cálculo Ibovespa.....	75

APÊNDICE E: Código VBA – Cálculo COE.....	76
APÊNDICE F: Código VBA – Configuração .....	78
APÊNDICE G: Código VBA – Curva Pré-fixada .....	79

## 1. O produto COE

O Certificado de Operações Estruturadas (COE) foi o nome designado no Brasil para o produto conhecido no mercado internacional como nota estruturada.

Antes de iniciar os conceitos, será feito uma analogia. Suponha uma casa, por mais bonita, grande e complexa que seja, a mesma é construída basicamente de pequenos tijolos. Assim é um produto estruturado, por mais complexo que uma estrutura de *payoff* possa parecer, a mesma é construída a partir de simples instrumentos financeiros. Uma nota estruturada compreende o conjunto de uma operação com caixa (instrumento de renda fixa) mais um (ou vários) derivativos, geralmente opções, onde o resultado agregado é decorrência de um capital inicial aportado pelo investidor e um *payoff* final definido conforme os cenários de rentabilidade estipulados para o produto. A utilização de instrumentos de opção na composição de um produto estruturado ocorre devido à sua característica essencialmente assimétrica, ou seja, não segue necessariamente uma rentabilidade linear, sendo possível a utilização de vários tipos de opções para a construção de uma estrutura.

Através da resolução do Banco Central Nº 4263, de 05/09/2013, o Certificado de Operações Estruturadas foi oficializado no mercado brasileiro. A regulamentação determinou regras para a emissão e distribuição, contemplando ofertas públicas e privadas. Os ativos subjacentes aos quais as estruturas podem ser indexadas, obedeceu a Resolução 3505 do CMN<sup>1</sup>, onde é necessário que o mesmo possua série regularmente calculada e apresente divulgação pública, evitando assim o uso de algum índice que possa ser arbitrado pelo emissor, ou seja, algum tipo de índice que não seja transparente à sua construção e cálculo. Com isso é possível a indexação do COE a ativos negociados tanto no mercado nacional como no mercado internacional, como: moedas, *commodities*, ações, taxas de juros e índices de bolsa. A emissão do COE deve contemplar estruturas de capital protegido ou perda limitada, até o limite de perda total do capital investido.

O COE é emitido sob forma escritural, ou seja, juridicamente vale o que estiver registrado no sistema da entidade registradora, mesmo que sejam firmados acordos

<sup>1</sup> Conselho Monetário Nacional

e documentos bilaterais entre o emissor e o investidor. Apesar de ser composto de um instrumento caixa e outro derivativo, para fins regulamentares, é tratado como um instrumento único e indivisível. Não é permitido que uma estrutura possua linearidade com demais instrumento financeiros básicos, ou seja, um COE não pode ser composto apenas de derivativos, bem como não pode ser composto apenas de instrumentos de renda fixa, é necessário que exista uma combinação desses instrumentos para gerar um *payoff*.

Conforme exposto na regulamentação do produto, é exigido que as instituições emissoras informem mensalmente às entidades registradoras o valor de mercado (MtM), além de análises de sensibilidade, que consistem em cenários de estresse, onde são realizados choques no valor do ativo subjacente do COE na magnitude de -20%, -5%, +5% e +20% (conforme circular 3684 do Banco Central do Brasil).

A negociação do COE é realizada através de PU (preço unitário) e quantidade, não permitindo que existam quantidades fracionadas. Dessa maneira quando o investidor realiza uma operação de COE, o mesmo está adquirindo uma determinada quantidade a um certo PU. O aporte financeiro inicial do investidor será a quantidade que deseja adquirir multiplicado pelo PU de emissão, e na liquidação o valor a receber por parte do investidor será a sua quantidade remanescente (caso tenha feito alguma liquidação antecipada parcial, essa quantidade será inferior à quantidade adquirida), multiplicado pelo PU do COE no vencimento.

Do ponto de vista das instituições financeiras, o COE, por ser basicamente um instrumento de captação, torna-se uma alternativa para a oferta de produtos de investimento, além dos já tradicionais CDB, LCA, LCI. Do ponto de vista do investidor, pode-se observar o descrito por Zenaro (2014):

E o investidor o que ganha com a introdução do COE no mercado? Talvez a principal vantagem seja a possibilidade de acessar novos mercados, de diversificar seu portfólio de investimentos. Principalmente em um momento em que as taxas de juros reais historicamente altas seguem a tendência de queda, ao menos no médio e longo prazo, alternativas que possibilitam ganhos acima da média chamam a atenção dos investidores. Trata-se de uma nova realidade para o investidor brasileiro, e aí está a outra grande vantagem do instrumento: ele permite a flexibilidade de se adequar ao perfil de tomada de risco de cada cliente. Assim, investidores mais conservadores, que por seu perfil nunca acessaram o mercado de ações com receio de perder seu capital, têm então a possibilidade de alcançar remuneração indexada a determinada ação, grupo de ações ou índice de ações, estabelecendo previamente o seu limite de perda no investimento. Já investidores mais arrojados

terão a oportunidade de investir em operações mais arriscadas, com estratégias e cenários mais bem definidos e que teriam maior dificuldade e menor eficiência de implantar por si só. (ZENARO, 2014, p. 59)

Com relação a tributação, o COE segue a tabela regressiva de imposto de renda retido na fonte, do mesmo modo que as operações de renda fixa, onde:

Tabela 1 - Tributação do COE	
Prazo em dias corridos	Alíquota de Imposto de Renda
até 180 dias	22,50%
entre 181 e 360 dias	20,00%
entre 361 e 720 dias	17,50%
acima de 720 dias	15,00%

Fonte: Receita Federal (2018)

## 1.1. DIE

A Instrução CVM<sup>2</sup> Nº 569, de 14/10/2015, que dispõe sobre a oferta pública de distribuição, também definiu os elementos que o Documento de Informações Essenciais (DIE) deve conter. O DIE é um documento que contempla todos os detalhes para a emissão do COE. Esse documento deve ser de fácil leitura pelo investidor, com linguagem clara e objetiva, além de apresentar os possíveis cenários de rentabilidade. Quando o COE é distribuído através de uma oferta pública, o DIE deve estar disponível na *internet*, através de um site institucional do emissor, ou podendo até mesmo ser publicado em mídias impressas como jornais e revistas.

## 1.2. Nota de negociação

Alguns atributos para o cálculo do COE não são observados diretamente no DIE, pois dependem das condições de mercado das operações de *hedge* que o emissor efetua como maneira de garantir a rentabilidade do investidor ao mesmo tempo que neutraliza os riscos de mercado para sua exposição.

---

<sup>2</sup> Comissão de Valores Mobiliários

Após a liquidação financeira da contratação do COE, ou seja, quando o investidor paga ao emissor pela aquisição do produto, o emissor tem a obrigatoriedade de disponibilizar ao investidor, de maneira confidencial, um documento contendo todos os detalhes da negociação efetuada, bem como todos os atributos utilizados para o cálculo do COE. Essa disponibilização pode ser realizada através de correspondência ou de forma eletrônica, como por exemplo, o envio de *email* ou no site de *homebanking* do emissor. Cada estrutura de COE (*payoff*) possui atributos específicos e a nota de negociação deve atender de maneira detalhada cada estrutura existente.

### **1.3. Suitability**

Em 13 de novembro de 2013 a Instrução CVM nº 539 regulamentou o procedimento de *suitability*, tornando obrigatório por parte das instituições financeiras a verificação da adequação dos produtos, serviços e operações ofertados ao perfil do cliente (investidor). Dessa maneira, para auxiliar o investidor na tarefa de selecionar o produto adequado ao seu perfil de risco e objetivos, as instituições financeiras passaram a realizar a Análise de Perfil do Investidor. Através de um questionário específico, que envolve aspectos como idade, horizonte de aplicação, finalidade, valor disponível para investimento, valor já aplicado e tolerância ao risco, é avaliado o perfil de risco do investidor, possibilitando oferecer produtos que melhor atendam as expectativas de retorno do mesmo. Uma vez que o COE é considerado um produto derivativo, é fundamental que o emissor tenha o questionário de *suitability* do investidor preenchido antes de concretizar qualquer operação, sob a pena se sofrer punições administrativas pelos órgãos reguladores do mercado financeiro.

### **1.4. Objetivos**

Essa monografia tem como objetivo apresentar o produto COE através de uma estrutura específica, denominada *Call Spread*, tendo como ativo subjacente o índice Ibovespa (principal índice do mercado acionário brasileiro). São abordadas as metodologias de precificação de *accrual* e *MtM* para os instrumentos financeiros que

compõem essa estrutura, e demonstrado como esses cálculos podem ser codificados em uma planilha.

### **1.5. Organização da Monografia**

Nesse primeiro capítulo foi apresentado o conceito e panorama histórico do Certificado de Operações Estruturadas. O segundo capítulo realiza uma introdução aos instrumentos financeiros de renda fixa pré-fixada e opção *vanilla*, pois são os instrumentos base para a estrutura de *Call Spread*. No terceiro capítulo é apresentada a estrutura e seu conceito de limitador de alta. O capítulo quatro detalha o processo de precificação dos instrumentos financeiros que compõem a estrutura. No quinto capítulo é demonstrado como os cálculos de *accrual* e MtM devem ser executados para o produto COE em uma estrutura do tipo *Call Spread*, sendo esses cálculos exemplificados para um COE e uma data-base específicos. No sexto capítulo, é demonstrada a implementação de todo o cálculo necessário para a correta precificação dessa estrutura, através de codificação em uma planilha do Microsoft Excel. No capítulo destinado à conclusão é exposto um parecer sobre o posicionamento do produto COE no mercado nacional atual e ratificado como os cálculos demonstrados atendem a precificação de *accrual* e MtM para a estrutura de *Call Spread* apresentada.

## 2. Instrumentos financeiros

Instrumento financeiro, em sua definição mais básica, trata-se de qualquer contrato que resulte em ativo financeiro para uma empresa e passivo financeiro para outra. No cenário apresentado nesse estudo, o conceito de instrumento financeiro refere-se à menor granularidade de um produto estruturado, ou seja, os instrumentos básicos que permitem a construção de estruturas mais complexas como o Certificado de Operações Estruturadas.

### 2.1. Renda fixa

Os instrumentos de renda fixa, ou títulos de renda fixa, são os títulos de emissão pública (governo) ou privadas (instituições financeiras), que têm como objetivo a captação de recursos através de investidores. De forma simples, ao adquirir um instrumento de renda fixa o investidor está emprestando dinheiro ao emissor. E como o dinheiro tem valor ao longo do tempo (juros), o emissor irá devolver esse recurso para o investidor em um determinado prazo e com uma determinada remuneração, sendo que essa remuneração pode ser pré-fixada, onde uma taxa fixa de valorização é acordada no início da operação, ou pós-fixada, quando o instrumento segue a variação de um indexador de mercado.

O instrumento de renda fixa privado mais comum no mercado nacional é o Certificado de Depósito Bancário (CDB). Os bancos possuem diversos tipos de operações comerciais de empréstimos, como cheque especial, crédito direto a correntistas e financiamento de automóveis. Para que seja possível realizar essas operações e atender aos clientes que precisam de crédito, os bancos precisam tomar dinheiro emprestado pagando juros. Quando um banco realiza a emissão de um CDB, ele está funcionando como um intermediário entre os investidores, que são uma das fontes de captação do banco, e os tomadores de empréstimo.

## 2.2. Opção Vanilla

Esse tipo de instrumento financeiro, diferente do instrumento financeiro de renda fixa, não se trata de um instrumento de captação e sim um instrumento de especulação ou proteção (*hedge*).

As operações de *hedge* funcionam como um seguro de preço, onde o investidor protege, parcial ou integralmente, um determinado bem ou ativo contra variações adversas de taxas, moedas ou preços, e por isso é considerada uma operação em que o risco está ausente, embora o objetivo, neste caso, não seja o lucro. Por outro lado, as operações de especulação são realizadas pelo investidor que busca apenas ganhar com a diferença entre o preço de compra e de venda, sem nenhum interesse pelo ativo em questão.

O conceito geral do instrumento opção é o de dar direito ao detentor da opção de comprar (opção de compra ou *call*) ou vender (opção de venda ou *put*) um determinado ativo objeto por determinado preço (*strike*) em uma data futura (data de vencimento) de um vendedor (lançador), que por sua vez tem a obrigação de vender ou comprar o ativo objeto, caso este seja o desejo do detentor da opção no futuro (exercício da opção). Para ter esse direito, o comprador paga ao vendedor um valor no início da transação (prêmio). Esse tipo de instrumento é diferente de um contrato futuro ou a termo, onde o comprador é obrigado a comprar ou vender o ativo subjacente. Existem diversos tipos de contratos de opção com características diferentes, a denominação de *vanilla* (do inglês, baunilha), busca classificar esse instrumento como tradicional, ou seja, não existem variedades na sua composição, que no caso das opções podem ser descontinuidades, como: barreiras de alta, barreiras de baixa, barreira dupla e digital.

As opções do tipo *vanilla* são classificadas, quanto ao seu tipo de exercício, em opção americana e europeia, sendo que a opção do tipo americana pode ser exercida pelo comprador durante qualquer momento até o vencimento, já a opção do tipo europeia só pode ser exercida na data de vencimento.

Com relação ao preço de exercício da opção, a mesma pode ser classificada de três modos:

- *At the money*:

- *call e put*: ocorre quando o preço de exercício da opção é exatamente o mesmo do valor futuro projetado do ativo objeto;
- *In the Money*:
  - *call*: quando o preço de exercício da opção é menor do que o valor futuro projetado do ativo objeto;
  - *put*: quando o preço de exercício da opção é maior do que o valor futuro projetado do ativo objeto;
- *Out the Money*:
  - *call*: quando o preço de exercício da opção é maior do que o valor futuro projetado do ativo objeto;
  - *put*: quando o preço de exercício da opção é menor do que o valor futuro projetado do ativo objeto;

O valor de uma opção é o valor do prêmio que o comprador precisa pagar para o vendedor da opção, sendo que diversos fatores influenciam o cálculo desse valor de prêmio, como por exemplo:

- valor à vista (*spot*) do ativo objeto;
- preço de exercício da opção;
- prazo para vencimento da opção;
- taxa de juros livre de risco do mercado;
- volatilidade, medida de oscilação de preços do ativo objeto;

Os fatores descritos acima são utilizados no apreçamento desse tipo de instrumento através da equação de Black e Scholes, que é abordada na seção 4.2.4 dessa monografia. Resumidamente, com base nos fatores acima, é possível verificar os seguintes comportamentos no preço das opções:

Tabela 2 - Comportamento do Preço da Opção

Variável	Comportamento	Preço da Call	Preço da Put
Preço à vista do ativo objeto	Aumenta	Aumenta	Diminui
Preço à vista do ativo objeto	Diminui	Diminui	Aumenta
Preço de exercício	Aumenta	Diminui	Aumenta
Preço de exercício	Diminui	Aumenta	Diminui
Prazo	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Prazo	Diminui	Diminui	Diminui
Taxa de juros livre de risco	Aumenta	Aumenta	Diminui
Taxa de juros livre de risco	Diminui	Diminui	Aumenta
Volatilidade	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Volatilidade	Diminui	Diminui	Diminui

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3. A estrutura Call Spread

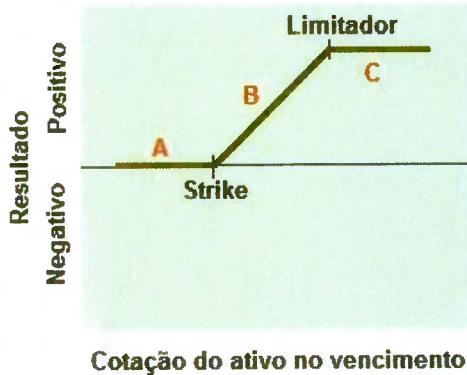
As estruturas de negociação, também chamadas de estratégias, correspondem as diferentes combinações de instrumentos financeiros encapsuladas em um único produto estruturado, sendo esse responsável por gerar os *payoffs* dos cenários de rentabilidade. Existem diversos tipos de estruturas disponíveis para a emissão do COE, como por exemplo:

- Call;
- Put;
- Put spread;
- Straddle;
- Strangle;
- Butterfly;
- Collar;
- Condor;
- Wedding cake;
- Range accrual;
- Autocall;

Todas as estruturas correspondem a combinações de um instrumento de renda fixa, responsável por garantir o capital investido e um (ou vários) instrumentos de opção. Entre as principais estruturas disponíveis, esse trabalho aborda a estrutura denominada *call spread*.

A estrutura *call spread*, também conhecida como *bull spread*, possibilita que o investidor tenha o retorno positivo de um determinado ativo objeto, a partir de um certo nível (*strike*) acordado, mas não ultrapassando determinado limite de ganho, e também não incorrendo em perda em caso de desvalorização do ativo. Esse tipo de estratégia é composta por um instrumento de renda fixa, uma opção *call vanilla* comprada e uma opção *call vanilla* vendida com um valor de *strike* superior ao da opção comprada. É a partir desse descasamento dos valores de *strike* que se cria o efeito de um limitador sobre a variação do ativo objeto.

Figura 1 - Payoff do Call Spread



Fonte: CETIP (2018)

Tabela 3 - Cenários de rentabilidade do Call Spread

Cenário	Situação	Resultado
A	Abaixo do <i>strike</i>	Capital Investido
B	Acima do <i>strike</i> e abaixo do limitador	Capital Investido mais o percentual da variação positiva do ativo
C	Acima do Limitador	Capital Investido mais o percentual da variação positiva do ativo, limitado ao percentual de variação máxima negociada

Fonte: CETIP (2018)

Em um cenário onde existe a expectativa no desempenho positivo de um determinado ativo objeto, mas que esse desempenho não irá exceder um certo nível (limite), é possível estruturar um *call spread*. Ao incluir um limitador de alta para o desempenho do ativo objeto, existe a possibilidade de uma redução no preço da estrutura, como por exemplo, um nível (*strike*) mais favorável ou uma maior participação sobre a variação do ativo (aderência). Suponha um emissor que deseja ofertar um COE onde o investidor pode ser remunerado a 120% da variação positiva de um determinado ativo objeto, porém limitado a 20% de variação positiva e ainda com a possibilidade de manter o capital aplicado protegido (sem perdas do valor principal).

## 4. Conceitos de precificação

No contexto do mercado financeiro, precificar é o processo de calcular o valor (ou preço) de um determinado instrumento financeiro. Usualmente o conceito de precificação é contemplado em dois grupos: *Accrual* e *MtM*. Cada tipo de instrumento financeiro possui uma abordagem de cálculo distinta. Nesse capítulo serão abordados dois tipos de instrumentos: renda fixa (com uma taxa de rendimento pré-fixada ao ano) e um derivativo do tipo opção *call vanilla*.

### 4.1. Accrual

O termo em inglês *accrual* significa acumulação, porém no mercado financeiro esse termo é empregado para designar o valor precificado de um determinado instrumento financeiro onde não existe qualquer grau de incerteza relevante aos fatores que determinam seu cálculo. Basicamente o cálculo de *accrual* refere-se ao valor presente do instrumento, sem considerar qualquer previsão (ou simulação) de cenários onde os fatores determinantes do preço podem sofrer variações. No caso de ativos de renda fixa, o termo *accrual* é usado para se referir à precificação de um ativo segundo a curva de juros negociada na aquisição do título (marcação na curva).

#### 4.1.1. Renda fixa pré-fixada

Um instrumento financeiro de renda fixa pré-fixada, possui seu cálculo de *accrual* através do regime de capitalização composta, segundo a obra de Securato (2008), temos:

O regime de capitalização composta é a forma de capitalização mais utilizada nas práticas financeiras no Brasil. No regime de capitalização composta, os juros (formados no fim de cada intervalo unitário de tempo) são gerados pelo montante existente no início de cada intervalo. Ou seja, os juros são gerados pela soma do capital, inicialmente investido, com os juros acumulados até o fim do intervalo imediatamente anterior. O modelo matemático associado ao regime de capitalização composta considera uma certa taxa de juros,

constante, em que está expresso o intervalo unitário de tempo, ao fim do qual os juros formados são incorporados ao capital (SECURATO, 2008, p. 31)

Suponha um instrumento de renda fixa pré-fixada, sem fluxos de pagamentos intermediários (sem amortização e pagamentos de cupons) e com apenas um fluxo de pagamento no vencimento (*bullet*), o cálculo de *accrual* é basicamente o cálculo de juros compostos descrito na citação acima, sendo:

$$V_a(t) = V_e \times (1 + i)^{\frac{t}{T}} \quad (1)$$

onde:

$V_a(t)$  = Valor do *accrual* na data correspondente ao período  $t$

$V_e$  = Valor de emissão

$i$  = Taxa pré-fixada

$t$  = Dias úteis entre a data de emissão e a data base

$T$  = Total de dias úteis no período

Nem sempre a forma de capitalização de juros de ativos de renda fixa no Brasil é feita considerando-se taxas ao ano (a.a.) e prazos em dias úteis. Assim, nos casos em que a forma de capitalização de juros é feita de forma distinta, a expressão apresentada acima precisa ser ajustada correspondentemente.

#### 4.1.2. Opção *call vanilla*

Para um instrumento derivativo do tipo opção *call vanilla* o valor no vencimento é determinado pelo preço de exercício (*strike*) e o valor do ativo subjacente no dia de *fixing* da opção. Para realizar o cálculo do valor de *accrual* desse tipo de instrumento, basta considerar que a data alvo do cálculo de *accrual* é a data de vencimento da opção, ou seja, utilizar a cotação atual (*spot*) do ativo objeto ao invés da cotação no vencimento, que por sinal é desconhecida, pois ainda estamos em um período anterior ao vencimento. Resumidamente o cálculo de *accrual* de uma opção *call vanilla* é

quanto vale a opção se a mesma estivesse vencendo (data de exercício) na data base do cálculo:

$$V_a(t) = \max(S_t - K; 0) \quad (2)$$

onde:

$V_a(t)$  = Valor do *accrual* na data correspondente ao período  $t$

$S_t$  = cotação do ativo objeto na data corresponde ao período  $t$

$K$  = cotação de exercício da opção (*strike*)

Algumas instituições financeiras consideram o valor de *accrual* de um instrumento de opção, do tipo europeia, como zero até a data de *fixing*, ou seja, a equação (2) apresentada acima só é aplicada no cálculo de *accrual* quando o intervalo de tempo  $t$  corresponde a data de *fixing* da opção.

#### 4.1.3. COE

O cálculo do valor de *accrual* de um produto estruturado, como o COE, corresponde à somatória, na data correspondente ao período  $t$ , dos valores de *accrual* de cada instrumento financeiro que o compõem:

$$PU_{accrual,COE}(t) = \sum_{i=1}^n PU_{accrual,instrumento_i}(t) \quad (3)$$

Normalmente esse produto não permite condição de resgate antecipado (essa informação deve constar no DIE<sup>3</sup>), por isso o valor de *accrual* de um produto estruturado não corresponde exatamente ao valor que o mesmo seria liquidado caso fosse antecipado, pois o emissor possui um fluxo de caixa definido por operações de *hedge*.

---

<sup>3</sup> Documento de informações essenciais

para garantir a rentabilidade proposta apenas no vencimento. Porém caso o comprador (investidor) do COE solicite a liquidação antecipada, o emissor irá liquidar a operação considerando todos os custos para o “desmonte” das operações de *hedge* proporcionais ao valor da liquidação solicitada e com isso não irá garantir qualquer tipo de rentabilidade descrita inicialmente para o produto.

## **4.2. MtM**

De maneira simplista podemos afirmar que: “o valor de algo é o valor que o mercado esteja disposto a pagar por isso”. Esse é princípio do MtM, abreviação do termo em inglês *Mark-to-Market*, que em tradução literal significa marcação a mercado. Esse tipo de precificação consiste em calcular o valor de um determinado instrumento financeiro todos os dias através do seu valor de mercado do dia, independentemente do valor ou da taxa contratada no momento que o instrumento foi adquirido. O cálculo do MtM utiliza-se de projeções e estimativas futuras de mercado trazidas a valor presente com o objetivo de obter “hoje” o preço de um determinado instrumento financeiro sensibilizado com as expectativas futuras dos fatores que podem causar oscilações no preço do mesmo na data de seu vencimento (maturidade). As expressões para o cálculo do MtM de ativos financeiros são obtidas a partir de argumentos de não-arbitragem.

### **4.2.1. Curva de juros pré-fixada em reais**

Entende-se por curva a termo ou curva da taxa de juros (*yield curve*) a relação entre a taxa de juros e o tempo de maturação do débito para um dado tomador de recursos em uma moeda, essa relação mostra como o mercado apreça o risco. De maneira simples, para emprestar dinheiro por um prazo mais longo, o investidor exige uma taxa de juros maior. Conforme descrito por Securato (2008):

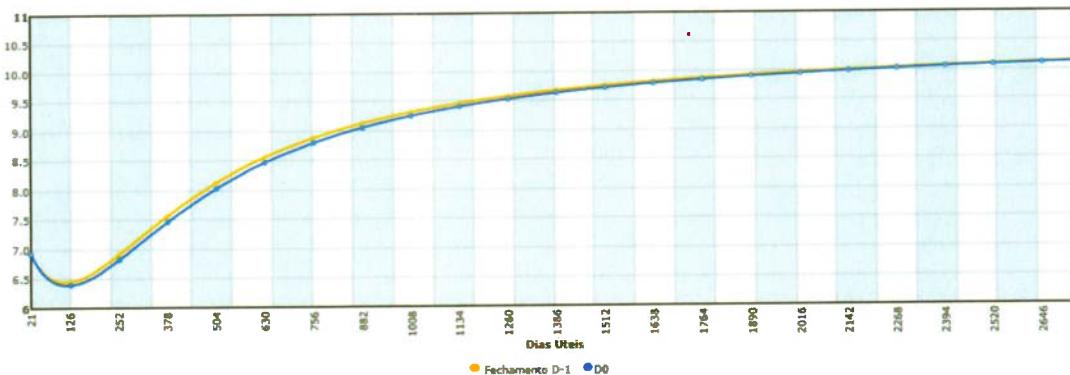
Em termos simplistas, o segredo para ter lucro em qualquer operação é comprar barato e vender caro, não necessariamente nessa ordem. O problema é todos os participantes do sistema estarão imbuídos do mesmo intuito, diferenciando-se apenas as opiniões sobre quando as coisas estão caras e

quando estão baratas. Essa questão dependerá basicamente das informações de cada um dos participantes, de suas oportunidades e dos riscos envolvidos. (SECURATO, 2008, p. 129)

A curva de juros pré-fixado em reais traz expectativas de taxas de juros para diversos prazos e que são utilizadas no mercado financeiro brasileiro para o apreçoamento de diversos instrumentos, incluindo instrumentos derivativos. A curva é obtida através do processo de ETTJ, a estrutura a termo da taxa de juros, que corresponde ao conceito central da teoria financeira e econômica usado para especificar qualquer conjunto de fluxos de caixa. A curva é representada por um conjunto de pontos no espaço “taxa de juros” x “prazo”, onde cada ponto corresponde a uma taxa de juros associada a um prazo (ou maturidade). A taxa de juros à vista (*spot*) associada a uma determinada maturidade pode ser interpretada como o retorno de um título de renda fixa de cupom zero, ou seja, sem fluxo de pagamento (*bullet*), com vencimento em seu respectivo prazo. As taxas a termo são as taxas de juros implícitas pelas taxas à vista para períodos de tempo no futuro.

Figura 2 - ETTJ da curva de juros pré-fixada

CURVA ZERO CUPOM - PREFIXADOS  
Taxa % a.a.



Fonte: Anbima (2018)

A estrutura a termo das taxas de juros pré-fixadas em reais é obtida a partir dos preços de ajuste dos contratos futuros de DI para um dia (DI1) da B3, sendo utilizado como primeiro ponto da curva a taxa CDI over divulgada pela CETIP<sup>4</sup>. O contrato futuro de DI1 tem como ativo subjacente a taxa média diária dos depósitos

<sup>4</sup> Em abril/2016 a, então, BMFBovespa anunciou a compra da Cetip, sendo que posteriormente a empresa resultante dessa fusão passou a ser chamada de B3

interfinanceiros (DI), calculada e divulgada pela CETIP, compreendida entre a data de negociação, inclusive, e a data de vencimento, exclusive, e é utilizado para proteção e gerenciamento de risco da taxa de juros de ativos/passivos referenciados em DI. O contrato tem valor nocial (valor de face) de R\$100.000 na data de vencimento, e o valor na data de negociação (PU) é igual ao valor de R\$100.000 descontado pela taxa negociada. Como a posição é atualizada diariamente pela taxa DI, o investidor que carrega a posição até o vencimento recebe ajustes diárias que somados equivalerão à diferença entre a taxa de juro contratada e a realizada, sobre o montante financeiro da operação. A fórmula abaixo comprehende a demonstração do cálculo para a obter a taxa pré-fixada (ao ano) a partir do valor de ajuste de um futuro de DI1 de prazo equivalente:

$$tx_t = \left( \frac{100.000}{DI_t} \right)^{\frac{252}{t}} - 1 \quad (4)$$

onde:

$tx_t$  = taxa da curva pré-fixada

$DI_t$  = valor de ajuste do contrato de DI1 para o prazo  $t$  em dias úteis

$t$  = prazo em dias úteis

#### 4.2.2. Interpolação exponencial para a curva de juros pré-fixada

Diariamente a B3 divulga as taxas dos contratos de DI1 para todos os vencimentos que foram negociados, esses valores são utilizados como os vértices para a construção da curva pré-fixada de juros em real. Quando existe a necessidade de ser obter uma estimativa da taxa entre dois vértices, é realizado o processo de interpolação exponencial das taxas com base no número de dias úteis:

$$tx_i = \left( (1 + tx_1)^{\frac{DU_1}{252}} \times \left( \frac{(1 + tx_2)^{\frac{DU_2}{252}}}{(1 + tx_1)^{\frac{DU_1}{252}}} \right)^{\frac{DU_n - DU_1}{DU_2 - DU_1}} \right)^{\frac{252}{DU_n}} - 1 \quad (5)$$

onde:

$tx_i$  = taxa interpolada

$tx_1$  = taxa do vértice inicial usado para a interpolação

$tx_2$  = taxa do vértice final

$DU_1$  = quantidade de dias úteis desde a data base até o vértice inicial

$DU_2$  = quantidade de dias úteis desde a data base até o vértice final

$DU_n$  = quantidade de dias úteis desde a data base até a data em que se quer obter a taxa interpolada

Suponha um instrumento de renda fixa sem fluxos de pagamentos (*bullet*) e com uma taxa de juros pré-fixada ao ano (base 252 dias úteis). Para que seja possível realizar o cálculo de valor de mercado desse instrumento, primeiramente devemos obter a curva pré-fixada na data base do cálculo para o prazo de vencimento (em dias úteis). No entanto, nem todos os vértices (prazos em dias úteis) são divulgados. Assim, será necessário realizar a interpolação entre os vértices mais próximos (anterior e posterior) para obter a taxa que estamos procurando. Como o processo de interpolação exponencial utiliza dias úteis para o cálculo, primeiramente é necessário realizar o cálculo de dias úteis para cada vértice. Uma maneira de realizar esse processo é através da função DIATRABALHOTOTAL() do Microsoft Excel. Após realizar o cálculo de dias úteis, identificamos quais os vértices precisamos interpolar, e aplicamos a equação apresentada acima.

Exemplo de interpolação exponencial para encontrar a taxa equivalente a um prazo de 15 dias úteis, utilizando como referência os vértices de 13 e 17 dias úteis, respectivamente. As taxas para os vértices existentes foram obtidas através do site da B3.

Figura 3 – Interpolação Exponencial

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Interpolação Exponencial			Vértices obtidos da B3									
1	Data Base	04/12/2017		Dias Úteis	Dias Corridos	Taxa Base 252						
2				3	4	5						
3	$tx_1$	6,99		6	7	8						
4	$tx_2$	6,98		9	10	11						
5	$DU_1$	13		11	12	13						
6	$DU_2$	17		13	14	15						
7	$DU_n$	15		15	16	17						
8	$tx_i$	6,984333%		17	18	23						
9				18	19	24						
10				21	22	29						
11				22	23	30						
12				25	26	35						
13				30	31	42						
14												
15												
16												

Diagrama de fluxo da fórmula:

```

    =DIATRABALHOTOTAL($B$2; ($B$2+E3))-1
    =((1+B3/100)^(B5/252))*(((1+B4/100)^(B6/252))/((1+B3/100)^(B5/252)))^((B7-B5)/(B6-B5)))^(252/B7)-1
  
```

#### 4.2.3. Renda fixa pré-fixada

O cálculo de MtM para um instrumento de renda fixa pré-fixada é uma relação entre o fator de capitalização no período total do instrumento por um fator de capitalização utilizando uma taxa pré-fixada futura descontada pelo prazo restante da operação. Ou seja, “trazer” o valor futuro descontado ao valor presente através da taxa pré-fixada de mercado. Após obter a taxa da curva pré-fixada para o prazo correspondente, é possível realizar o cálculo de marcação a mercado para esse instrumento de renda fixa, utilizando a seguinte equação:

$$V_m(t) = V_e \times \frac{(1 + i)^{\frac{T}{252}}}{(1 + Y)^{\frac{t}{252}}} \quad (6)$$

onde:

$V_m(t)$  = Valor de mercado na data correspondente ao período  $t$

$V_e$  = Valor de emissão

$i$  = Taxa pré-fixada negociada na emissão

$T$  = Dias úteis entre a data de emissão e a data de vencimento

$Y$  = Taxa pré-fixada obtida da curva de juros pré-fixada em reais acrescida de um *spread* de crédito do emissor

$t$  = Dias úteis entre a data base do cálculo e a data de vencimento

O *spread* de crédito na equação de apreçamento acima tem como objetivo causar uma sensibilidade no valor apurado, sendo um artifício para considerar o risco de crédito atrelado ao emissor do título. Cada instituição financeira utiliza uma metodologia proprietária para a obtenção desses *spreads* de crédito como, por exemplo, a utilização de *ratings* (notas de crédito) que são divulgadas através das agências classificadoras de crédito.

#### 4.2.4. Modelo de Black e Scholes para opção *call vanilla*

O cálculo de MtM para um instrumento do tipo *call vanilla* requer uma abordagem diferenciada, sendo necessário a aplicação das equações do modelo de Black e Scholes.

Fischer Black, Myron Scholes e Robert Merton realizaram um grande avanço em 1973 com um artigo intitulado "*The Pricing of Options and Corporate Liabilities*", onde desenvolverem o modelo de apreçamento de opções europeias sobre ações, ao qual foi chamado de modelo de Black-Scholes-Merton, ou usualmente apenas de Black e Scholes. Em 1997, Robert Merton e Myron Scholes receberam o Prêmio Nobel de Economia, confirmado assim a grande importância desse modelo. Infelizmente, Fischer Black faleceu em 1995<sup>5</sup>, pois com certeza teria dividido o prêmio com os outros dois.

Black e Scholes utilizaram o modelo de precificação de ativo financeiros, em inglês CAPM (*Capital Asset Pricing Model*), para determinar a relação entre o retorno exigido do mercado sobre a opção e o retorno exigido sobre a ação, e essa abordagem não é trivial, uma vez que tal relação depende do preço da ação e do tempo. A abordagem de Merton, diferentemente, envolvia estruturar um portfólio livre de risco, composto da opção e da ação subjacente, e argumentar que o retorno sobre o portfólio durante um breve período de tempo deve ser o retorno livre de risco. Essa abordagem tinha uma característica mais generalista do que a de Black e Scholes, pois não dependia dos pressupostos do modelo de precificação de ativos financeiros.

As soluções mais famosas da equação diferencial de Black e Scholes são as fórmulas para determinar os preços das opções de compra e venda europeias (para ativos que não pagam dividendos), conforme abaixo:

---

<sup>5</sup> Fischer Black faleceu em 1995 devido a um câncer de garganta

Call:

$$c = S_0 N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2) \quad (7)$$

Put:

$$p = K e^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \quad (8)$$

sendo:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (9)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (10)$$

onde:

$c$  = preço da opção de compra

$p$  = preço da opção de venda

$N(x)$  = função de distribuição de probabilidade cumulativa para uma variável com distribuição normal padrão

$S_0$  = preço da ação no tempo zero (instante atual)

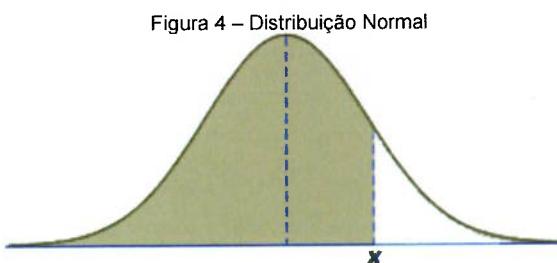
$K$  = preço de exercício da opção

$r$  = taxa de juros livre de risco com capitalização contínua

$\sigma$  = volatilidade do preço da ação

$T$  = tempo até a maturidade (exercício) da opção

O termo  $N(x)$  é a função probabilidade cumulativa padronizada.  $N(x)$  mede a probabilidade de uma variável com distribuição normal padrão ser menor que  $x$ , de maneira gráfica temos:



Dessa forma,  $N(d_1)$  mede essa probabilidade quando  $x$  é igual a  $d_1$ , e o termo  $N(d_2)$  mede essa probabilidade quando  $x$  é igual a  $d_2$ . O conceito do  $N(d_2)$ , então, é a probabilidade de uma opção de compra ser exercida, enquanto a expressão  $S_0N(d_1)e^{-rT}$  é o preço esperado da ação no tempo  $T$  quando os preços de ações são menores do que o preço de exercício. No caso de uma opção do tipo *call*, o preço de exercício é pago somente se o preço da ação é maior do que  $K$  e tem uma probabilidade de  $N(d_2)$ .

Para o cálculo da função probabilidade cumulativa padronizada  $N(x)$ , pode-se utilizar a função do Microsoft Excel denominada DIST.NORMP.N.

#### **4.2.4.1. Volatilidade**

A volatilidade é uma medida de dispersão dos retornos de um determinado ativo, mostrando a intensidade e a frequência das oscilações nas cotações e pode ser utilizada como uma forma de mensurar o risco atrelado a esse ativo. Existem basicamente dois tipos de volatilidade para se trabalhar na equação de Black e Scholes: a volatilidade histórica e a volatilidade implícita. Enquanto as volatilidades históricas estão voltadas para o passado, as implícitas retratam a condição atual de mercado. Para a abordagem do cálculo de Black e Scholes desse trabalho será utilizada a volatilidade histórica.

O cálculo da volatilidade implícita envolve métodos numéricos onde busca-se encontrar o valor da volatilidade através dos preços de opções de mercado utilizando um processo de procura interativa, enquanto o cálculo da volatilidade histórica consiste em obter o desvio padrão de uma amostragem de retornos logarítmicos da cotação de um ativo, durante um determinado período de tempo. Como a equação de Black e Scholes necessita da volatilidade anualizada, multiplicamos o desvio padrão pela raiz quadrada do número 252 (que corresponde ao número de dias úteis de um ano), ou seja:

$$R_d = \ln\left(\frac{C_t}{C_{t-1}}\right) \quad (11)$$

$$\sigma = Desvio\ Padrão\ (\{ R_{d_1}; R_{d_2}; \dots; R_{d_n} \}) \quad (12)$$

$$vol_a = \sigma \times \sqrt{252} \quad (13)$$

onde:

$C_t$  = cotação atual do ativo

$C_{t-1}$  = cotação anterior do ativo

$R_d$  = retorno diário

$\sigma$  = desvio padrão da série de retornos diários da amostra

$vol_a$  = volatilidade anualizada

Com relação à volatilidade, o trecho abaixo extraído da obra de Hull (2016) descreve bem o que causa a volatilidade dos ativos:

É natural pressupor que a volatilidade de uma ação é causada pela entrada de novas informações no mercado, que fazem com que os indivíduos revisem suas opiniões sobre o valor da ação. O preço da ação muda e o resultado é a volatilidade. Mas as pesquisas não apoiam essa visão sobre o que causa a volatilidade. Com vários anos de dados de preços diários, os pesquisadores podem calcular:

- I) A variância dos retornos do preço da ação entre o encerramento das negociações em um dia e o encerramento das negociações do dia seguinte quando não há dias sem negociação entre os dois.
- II) A variância dos retornos do preço da ação entre o encerramento das negociações na sexta-feira e o encerramento das negociações na segunda-feira.

O segundo item é a variância dos retornos durante um período de 3 dias. O primeiro é a variância durante um período de 1 dia. Seria razoável esperar que a segunda variância é o triplo da primeira. Fama (1965), French (1980) e French e Roll (1986) mostram que isso não é verdade. Os três estudos estimam que a segunda variância é, respectivamente, 22%, 19% e 10,7% superior a primeira.

Nesse momento, ficaríamos tentados a argumentar que esses resultados são explicados pelo maior influxo de notícias quando o mercado está aberto para negociação. Mas as pesquisas de Roll (1984) não apoiam essa explicação. Roll analisou os preços de futuros de suco de laranja. As notícias mais

importantes de todas para os preços futuros de suco de laranja são aquelas sobre o clima, que tem sempre a mesma probabilidade de surgirem. Quando Roll conduziu uma análise semelhante àquela descrita para as ações, ele descobriu que a segunda variância (de sexta-feira para segunda-feira) para futuros de suco de laranja é apenas 1,54 vez maior que a primeira.

A única conclusão razoável de tudo isso é que a volatilidade é causada, em grande parte, pelas negociações em si. (HULL, 2016, p. 352)

#### 4.2.4.2. Taxa livre de risco

No modelo de Black e Scholes utilizamos como taxa livre de risco a taxa obtida da curva pré-fixada em reais (apresentada anteriormente). Isso porque essa curva é obtida tendo em vista princípios de não-arbitragem e, devido ao grande número de negociações de contratos de DI (spot e futuro), a curva pré-fixada se baseia em ativos com grande liquidez do mercado brasileiro e que apresentam risco de crédito baixo. Um ponto que deve ser observado na equação de Black e Scholes e que a capitalização da taxa de juros é feita na forma contínua, porém o padrão do mercado brasileiro é a capitalização composta por dias úteis. Com isso, devemos fazer a seguinte adaptação, passando a utilizar a taxa  $r$  (referente à capitalização contínua) ao invés da taxa  $tx$  (referente à capitalização composta em dias úteis):

$$e^{rT} = (1 + tx)^T \rightarrow r = \ln(1 + tx) \quad (14)$$

#### 4.2.5. COE

Assim como no cálculo do *accrual*, o cálculo do valor de MtM de um produto estruturado, como o COE, corresponde à somatória, na data correspondente ao período  $t$ , dos valores do PU de MtM de cada instrumento financeiro que o compõem, sendo que esse valor corresponde ao valor de mercado da estrutura fechada, e é esse valor de MtM que é repassado para os órgãos reguladores de mercado, como o Banco Central:

$$PU_{MTM_{COE}}(t) = \sum_{i=1}^n PU_{MTM_{instrumento_i}}(t) \quad (15)$$

#### 4.2.6. Cenário de estresse

O Banco Central, também, exige que o emissor reporte o valor de MtM do COE em cenários de estresse para a cotação do ativo subjacente (ativo objeto) do COE. Esses cenários de estresse correspondem a realizar “choques” na cotação *spot* do ativo, na data base de cálculo dos instrumentos derivativos que compõem a estrutura e após isso recalcular o valor MtM do instrumento derivativo de acordo com esse cenário, gerando assim um novo valor de MtM para a estrutura fechada. Os principais cenários exigidos pelo Banco Central são:

Tabela 4 - Cenários de Estresse

<i>n</i>	Cenário	Choque
	<i>c<sub>n</sub></i>	<i>z<sub>n</sub></i>
1	-20,00%	Cotação spot x (1 - 0,20)
2	-5,00%	Cotação spot x (1 - 0,05)
3	+5,00%	Cotação spot x (1 + 0,05)
4	+20,00%	Cotação spot x (1 + 0,20)

Fonte: Banco Central (2013)

No caso de um instrumento financeiro do tipo *call vanilla*, o cenário de estresse é calculado através da equação de Black e Scholes, utilizando o choque correspondente:

$$c_n = (S_0 \times (1 + z_n))N(d_1) - Ke^{-rT}N(d_2) \quad (16)$$

sendo:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0 \times (1 + z_n)}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (17)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (18)$$

onde:

$c_n$  = preço da opção de compra no cenário  $n$

$N(x)$  = função de distribuição de probabilidade cumulativa para uma variável com distribuição normal padrão

$S_0$  = preço da ação no tempo zero

$z_n$  = percentual de choque do cenário  $n$

$K$  = preço de exercício da opção

$r$  = taxa de juros livre de risco com capitalização contínua

$\sigma$  = volatilidade do preço da ação

$T$  = tempo até a maturidade (exercício) da opção

## 5. Precificação de estrutura call spread de Ibovespa para o produto COE

Conforme descrito no capítulo 3, uma estrutura do tipo *call spread* é composta de um instrumento de renda fixa, responsável pela captação, e dois instrumentos do tipo *call vanilla*, sendo uma *call* comprada e uma *call* vendida em diferentes *strikes*, permitindo assim definir um limitador de ganho na estrutura sem a necessidade da utilização de instrumentos que sofrem descontinuidades ao longo de sua vigência, como é o caso das opções com barreira. Essa estrutura tem como atrativo ser composta de instrumentos que possuem métodos de apreçamento “fechado”, ou seja, sua precificação é realizada através de equações matemáticas sem a necessidade de complexos artifícios computacionais.

Para ilustrar a precificação de um produto COE em uma estrutura do tipo *call spread*, vamos supor os seguintes parâmetros de uma emissão:

Tabela 5 - Característica do COE

Atributo	Valor
Tipo de Estrutura	<i>Call Spread</i>
Valor Nominal (VN)	mínimo de R\$ 1.000,00
PU de Emissão	1.000,00
Data de Emissão	09/08/2016
Data de Vencimento	09/08/2017
Prazo	1 ano (365 dias corridos, 251 dias úteis)
Modalidade	Capital protegido
Ativo Subjacente	IBOVESPA
Condição de Liquidação Antecipada	Sem liquidação antecipada
Participação no Cenário de Alta	120%
Limitador de Alta	115% (referente ao Ibovespa spot)
Data de <i>Fixing</i>	08/08/2017
Tipo de Cotação para Liquidação	Fechamento

Fonte: Elaborado pelo autor

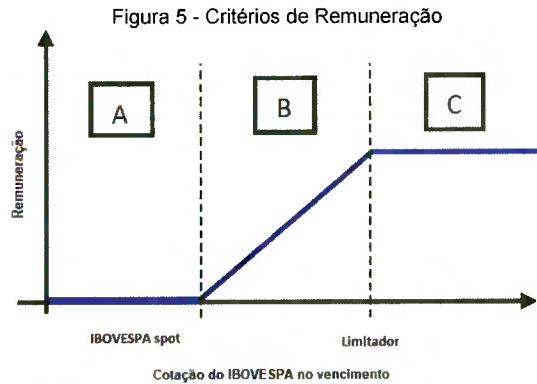


Tabela 6 - Cenários de Rentabilidade

Cenário	Variação do IBOVESPA	Remuneração	Fórmula de Cálculo dos Juros
A	No vencimento, IBOVESPA igual ou inferior ao IBOVESPA spot	4% a.a (3,98% no período)	$VN \times 3,98\%$
B	No vencimento, IBOVESPA superior ao IBOVESPA spot em até (mas não inclusive) 15%	120% da variação do IBOVESPA verificada no período	$VN \times 120\% \times \left( \frac{Ibovespa_{vencimento}}{Ibovespa_{spot}} - 1 \right)$
C	No vencimento, IBOVESPA superior ao IBOVESPA spot em 15% ou mais	18% a.a. (17,98% no período)	$VN \times 17,98\%$

Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.1. Definições

Os dados descritos no COE acima correspondem aos dados reais de uma emissão realizada em um banco de investimento onde o autor trabalhou. A emissão desse COE foi realizada em condição de oferta privada, ou seja, apenas os correntistas da instituição tiveram acesso ao DIE referente a esse COE e por questões de *compliance* não foi possível obter autorização para reproduzir integralmente o DIE nesse trabalho. No entanto todos os valores descritos acima correspondem aos valores reais da emissão.

A decomposição da estrutura *call spread* em seus instrumentos financeiros básicos é realizada através dos atributos informados no DIE, sendo:

- Pu de emissão
  - Valor correspondente a uma unidade do COE. Quando o investidor adquire um COE ele compra uma determinada quantidade, dessa maneira o valor de investimento é calculado como sendo a quantidade adquirida multiplicada pelo PU de emissão, da mesma

maneira é efetuada a liquidação do COE, sendo a quantidade do investidor multiplicada pelo PU do COE no vencimento.

- Participação no Cenário de Alta
  - Conhecido como taxa de aderência, ou alavancagem. Determina o multiplicador da variação percentual positiva do ativo objeto que o investidor irá receber, caso não ultrapasse o limitador no cenário de alta. Nesse exemplo o investidor está recebendo 120% da variação do Ibovespa no período, ou seja, se no vencimento o Ibovespa tiver variado em 10%, o investidor irá receber 1,2 vezes essa variação percentual.
- Limitador de Alta
  - Determina a variação máxima que o ativo objeto pode sofrer no período, sendo que qualquer variação acima desse patamar não será repassada ao investidor, ou seja, existe um limite de ganho.
- Prazo
  - Conforme descrito no DIE, o prazo desse COE é de 251 dias úteis, isso ocorre, pois, a liquidação é efetuada no dia do vencimento (exclusive), ou seja, os valores a serem liquidados no vencimento são realizados na “abertura” do dia, por isso o total de 251 dias ao invés de 252. Essa informação influencia na taxa de rentabilidade, por isso o DIE demonstra a rentabilidade tanto “ao ano” quanto “ao período”.

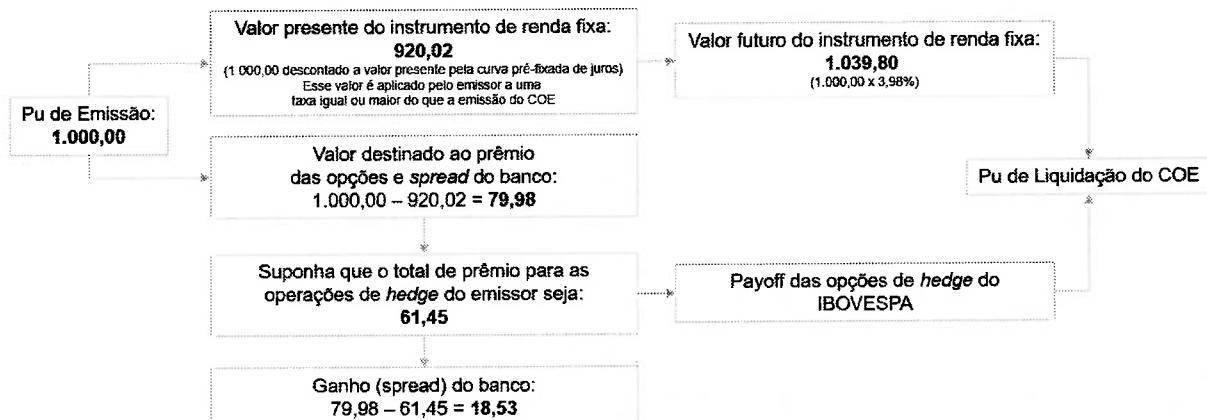
Conforme descrito no capítulo 1, alguns parâmetros da emissão do COE apenas são de conhecimento no dia da emissão do mesmo, como por exemplo a cotação inicial do ativo subjacente (cotação spot). Para esse COE que está sendo usado como exemplo a cotação do IBOVESPA na data de emissão (09/08/2016) foi de 57689,41.

Quando o investidor adquire um COE ele está adquirindo um produto “fechado”, ou seja, a remuneração será baseada no desempenho de um determinado ativo subjacente, e dessa maneira o investidor não está adquirindo cada instrumento financeiro individualmente que compõe a estrutura do produto. A visão do investidor é baseada da tabela onde existem três cenários de rentabilidade.

Por outro lado, o emissor do COE para garantir as condições de rentabilidade ofertadas, necessita adquirir os instrumentos básicos que compõem o produto e com isso realizar o processo de *hedge*, eliminando assim os riscos de mercado provenientes da estrutura. Ao realizar o processo de *hedge*, o emissor já conhece o seu ganho presente, restando apenas um passivo “*hedgeado*”<sup>6</sup> a ser carregado até o vencimento do COE. No processo de *hedge*, o emissor realiza operações contrárias às suas posições no produto COE, ou seja, para os instrumentos de opção com posição vendida no COE, o emissor adquire os mesmos instrumentos, porém com posição comprada. Devido ao alto valor das operações do emissor, o mesmo encontra maior facilidade (contraparte) para realizar essas operações do que um investidor individual conseguira com um valor menor.

Os cálculos para as operações de *hedge* do emissor não serão abordados nesse capítulo, pois o objetivo é demonstrar o cálculo dos instrumentos que compõem o COE, porém de forma geral a formação de preço de um produto estruturado por parte do emissor é realizado conforme descrito abaixo. No exemplo é utilizado o PU de emissão, apenas para uma melhor demonstração, porém o processo abaixo é realizado com o valor total da emissão, ou seja, PU de emissão multiplicado pela quantidade total adquirida por todos os investidores. Os valores utilizados na ilustração abaixo foram definidos de forma arbitrária, ou seja, não representam os valores reais realizados pelo emissor para o COE em estudo.

Figura 6 - Formação de preço do COE



<sup>6</sup> Neologismo; significa que o valor se encontra coberto, protegido.

Para realizar a precificação desse COE proposto, primeiramente precisamos identificar os instrumentos financeiros, e seus respectivos atributos que compõem a estrutura, nesse caso temos:

Tabela 7 - Instrumento COE - ponta 1

Ponta 1	
Classe do Instrumento	Renda fixa
Indexador	Pré
Tipo de Remunerador	ao ano
Percentual do Remunerado	4,00%

Tabela 8 - Instrumento COE - ponta 2

Ponta 2	
Classe do Instrumento	<i>Call Vanilla</i>
Ativo Subjacente	IBOVESPA
Posição	Comprado
Valor Inicial do Ativo Subjacente	57689,41
Strike (em percentual)	103,33%
Strike (em valor)	59610,46 ( $57689,41 \times 103,33\%$ )
Taxa de Aderência	120,00%

Tabela 9 - Instrumento COE - ponta 3

Ponta 3	
Classe do Instrumento	<i>Call Vanilla</i>
Ativo Subjacente	IBOVESPA
Posição	Vendido
Valor Inicial do Ativo Subjacente	57689,41
Strike (em percentual)	115,00%
Strike (em valor)	66342,8215 ( $57689,41 \times 115,00\%$ )
Taxa de Aderência	120,00%

Os valores definidos para o *strike* da ponta 2 (opção *call* comprada) e ponta 3 (opção *call* vendida) foram obtidos através do processo de *pricing* do emissor junto as contrapartes, onde são avaliados todos os aspectos descritos na seção 2.2 dessa monografia para chegar ao preço justo da opção.

Para os cálculos de *accrual* e *MtM* realizados nas próximas seções desse capítulo, é adotado a visão do investidor, ou seja, os valores de PU calculados são positivos. Para a visão do emissor, a precificação é igual, porém os valores de PU obtidos deveriam ser considerados como negativos, uma vez que o emissor deve pagar ao investidor no vencimento os valores aqui calculados.

Todos os cálculos a seguir serão efetuados adotando como data base 13/02/2017, de modo que:

Tabela 10 - Data base para cálculo	
Atributo	Valor
Data de Emissão	09/08/2016
Data de Vencimento	09/08/2017
Data Base	13/02/2017
Dias corridos decorrido	188
Dias úteis decorrido	130
Dias corridos a decorrer	177
Dias úteis a decorrer	121

## 5.2. Accrual

Os cálculos de *accrual* demonstrados a seguir correspondem à especificação do PU para cada instrumento financeiro que compõem o COE, ou seja, o valor de uma unidade desse instrumento.

### 5.2.1. Renda fixa pré-fixada

Conforme apresentado na seção 4.1.1, o instrumento de renda fixa pré-fixada, trata-se de uma operação de capitalização através de juros compostos, com isso o cálculo de *accrual* é dado pela equação (1), reproduzida abaixo:

$$PU_a = PU_e \times (1 + i)^{\frac{t}{252}} \quad (19)$$

Substituindo os valores na equação chegamos em:

$$\begin{aligned} PU_a &= 1.000,00 \times (1 + 0,04)^{\frac{130}{252}} \\ PU_a &= 1.020,4389803 \end{aligned} \quad (20)$$

### 5.2.2. Call vanilla

Conforme mencionando anteriormente a estrutura de um produto COE tem como objetivo replicar o *payoff* dos instrumentos que a compõem. O cálculo do valor de *accrual* do instrumento opção retorna o valor referente a uma opção, para saber o valor total basta multiplicar o valor obtido pela quantidade de opções, porém na estrutura fechada do COE não temos a quantidade de opções utilizadas. Por isso é necessário sensibilizar o valor encontrado da opção com os parâmetros do COE e obter o valor de quantidade intrínseca da estrutura. Essa sensibilização é realizada da seguinte maneira:

$$PU_a = \left( \left( \frac{\max(S_t - K; 0)}{S_i} \right) \times T_a \right) \times PU_e \quad (21)$$

onde:

- $PU_a$  = PU atual do instrumento do tipo opção *vanilla*
- $S_i$  = Cotação do ativo objeto na data de emissão (valor inicial do ativo ou *spot*)
- $T_a$  = Taxa de aderência
- $PU_e$  = PU de Emissão do COE (conforme divulgado no DIE)

Para a data base de 13/02/2017 a cotação de fechamento do IBOVESPA foi de 66.967,64. Substituindo os valores na equação chegamos em:

#### Ponta 2

$$\begin{aligned} PU_a &= \left( \left( \frac{\max(S_t - K; 0)}{S_i} \right) \times T_a \right) \times PU_e \\ \rightarrow PU_a &= \left( \left( \frac{\max(66.967,64 - 59.610,46; 0)}{57.689,41} \right) \times 120\% \right) \times 1.000,00 \end{aligned} \quad (22)$$

$$\rightarrow PU_a = 153,0370305$$

como a ponta 2 é uma call vanilla comprada, o valor obtido deve ser mantido em positivo:

$$PU_a = 153,0370305$$

### Ponta 3

$$\begin{aligned} PU_a &= \left( \left( \frac{\max(S_t - K; 0)}{S_i} \right) \times T_a \right) \times PU_e \\ \rightarrow PU_a &= \left( \left( \frac{\max(66.967,64 - 66.342,8215; 0)}{57.689,41} \right) \times 120\% \right) \times 1.000,00 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\rightarrow PU_a = 12,9968776$$

como a ponta 3 é uma call vanilla vendida, o valor obtido deve ser convertido em negativo:

$$PU_a = -12,9968776$$

### 5.2.3. Pu de Accrual do COE

Agora que possuímos os valores de *accrual* de cada instrumento individualmente, o PU de *accrual* do COE corresponde a somatória dos PUs desses instrumentos:

$$PU_{accrual_{COE}} = \sum_{i=1}^n PU_{accrual_{instrumento_i}} \quad (24)$$

onde:

$$PU_{accrual_{COE}} = PU_{ponta_1} + PU_{ponta_2} + PU_{ponta_3}$$

$$\rightarrow PU_{accrual_{COE}} = 1.020,4389803 + 153,0370305 + (-12,9968776)$$

(25)

$$\rightarrow PU_{accrual_{COE}} = 1.160,47$$

## 5.3. MtM

Os cálculos de *MtM* demonstrados a seguir correspondem a especificação do PU para cada instrumento financeiro que compõem o COE, ou seja, o valor de uma unidade desse instrumento.

### 5.3.1. Taxa interpolada da curva de juros pré-fixada

Para o cálculo de *MtM* tanto do instrumento de renda fixa pré-fixada como para os instrumentos de opção (variável correspondente à taxa livre de risco), será necessário obter a taxa projetada para o prazo correspondente entre a data base do cálculo e a data de vencimento do COE.

Abaixo, os passos necessários para obter a taxa pré (base 252) a partir da interpolação da curva de juros pré-fixada para uma data que não é vértice da curva:

- i. Calcular a quantidade de dias corridos restantes entre a data base do cálculo e a data de liquidação do COE. De acordo com a tabela 10 (data base para cálculo) esse valor é igual a 177;
- ii. Acessar a página de consulta das taxas referenciais de mercado disponibilizada pela B3 (link disponível na bibliografia), e consultar a curva “DI x Pré” para a data base do cálculo, nesse caso 13/02/2017;
- iii. Verificar o vértice anterior e o vértice posterior para o prazo em dias corridos correspondentes a data base do cálculo;

Tabela 11 - Taxa Pré-fixada dias corridos

Dias corridos	Taxa 252	Taxa 360
169	11,41	11,07
182	11,31	11,00

Fonte: Elaborado pelo autor

- iv. Calcular a quantidade de dias úteis correspondentes a cada vértice encontrado no item anterior. Para essa etapa podemos utilizar a função

DIATRABALHOTOTAL () do Microsoft Excel, uma vez que precisamos considerar os feridos nacionais no cálculo de dias úteis;

Tabela 12 - Taxa Pré-fixada dias úteis			
Data base	Dias corridos	Dias úteis	Taxa 252
13/02/2017	169	115	11,41
13/02/2017	182	124	11,31

Fonte: Elaborado pelo autor

- v. Calcular a quantidade de dias úteis entre a data base do cálculo e a data de liquidação do COE. De acordo com a tabela 10 (data base para cálculo) esse valor é igual a 121;
- i. Realizar o cálculo de interpolação exponencial para obter a taxa pré-fixada corresponde ao prazo.

$$tx_{i121} = \left( (1 + 11,41\%)^{\frac{115}{252}} \times \left( \frac{(1 + 11,31\%)^{\frac{124}{252}}}{(1 + 11,41\%)^{\frac{115}{252}}} \right)^{\frac{121-115}{124-115}} \right)^{\frac{252}{121}} - 1 \quad (26)$$

$$tx_{i121} = 11,34\%$$

onde:

$tx_{i121}$  = taxa pré-fixada interpolada para o prazo de 121 dias úteis entre a data base do cálculo e a data de vencimento do COE.

### 5.3.2. Renda fixa pré-fixada

O cálculo de MtM para o instrumento de renda fixa pré-fixada utiliza a projeção da taxa pré-fixada para o prazo restante do produto COE e também uma taxa de *spread* de risco. Para fins do presente estudo, podemos considerar que o instrumento de renda fixa desse COE pertence ao próprio emissor, com isso iremos assumir que o *spread* de risco é zero, ou seja, apenas a taxa pré-fixada será utilizada no fator de desconto para o prazo. Algumas instituições financeiras realizam a operação de *hedge*

para o instrumento de renda fixa com a própria Tesouraria (mesa de Derivativos/Estruturação contra mesa da Tesouraria) dessa maneira não existe um risco de crédito atrelado ao cálculo de MtM desse instrumento.

Utilizando a taxa pré-fixada interpolada encontrada no item anterior, podemos realizar o cálculo de MtM da seguinte maneira:

$$PU_m = 1.000 \times \frac{(1 + 4\%)^{\frac{251}{252}}}{(1 + 11,34\%)^{\frac{121}{252}}} \quad (27)$$

$$PU_m = 987,5651541$$

onde:

$PU_m$  = PU de mercado atual do instrumento de renda fixa

### 5.3.3. Call vanilla

O cálculo de valor de mercado para instrumentos de opção é realizado através da fórmula de Black e Scholes. Como o ativo objeto do COE proposto é um índice de ações, podemos utilizar a fórmula original de Black e Scholes para a precificação de um instrumento do tipo opção *call vanilla* europeia que não paga dividendos. Entre as variáveis necessárias para a aplicação da fórmula, existe uma que não possui uma observação direta: a volatilidade. Para fins do presente estudo será utilizada a volatilidade histórica do índice IBOVESPA.

#### 5.3.3.1. Volatilidade histórica

A volatilidade é a variável mais subjetiva do modelo de Black e Scholes, pois cada participante do mercado pode ter uma metodologia própria para o cálculo da volatilidade. Usualmente a volatilidade implícita, também chamada de *ex-ante*, é a medida mais aceita para o cálculo do modelo, pois busca determinar a volatilidade

baseada nos preços atuais das opções europeias para certo ativo objeto. A busca por modelos cada vez mais assertivos na projeção da volatilidade tem sido alvo de artigos acadêmicos, porém a adoção de novos modelos por parte dos participantes do mercado estará sempre sujeita às normas e diretrizes de suas respectivas áreas de Risco de Mercado e modelagem matemática.

A volatilidade histórica, também chamada de *ex-post*, é baseada nos retornos passados de um determinado ativo, e embora possa apresentar resultados menos assertivos do que a volatilidade implícita, ainda é bastante difundida no mercado, conforme exposto por Kondo (2008):

Esse método é ainda muito empregado, geralmente para se ter uma ideia do tamanho e grandeza da volatilidade da carteira e ou ativo, e por ser de fácil e rápida implementação, duas características que são muito apreciadas no mercado financeiro. Além do mais, esse modelo pode ser utilizado sem grandes discrepâncias com a realidade quando o ambiente econômico não está muito turbulento, ou seja, em que não há a existência de retornos extremos em um passado recente. Dessa forma o valor estimado por esse modelo não será muito diferente do obtido por outros modelos mais sofisticados, porém será obtido com extrema rapidez. (KONDO, 2008, p. 40)

Para o cálculo da volatilidade histórica nesse trabalho, é observada uma janela de 252 dias de retornos do IBOVESPA, sendo que para a data base do cálculo em análise nesse capítulo essa janela esta compreendida entre os dias 16/02/2016 e 10/02/2017. Após obter todos os retornos, deve-se calcular o desvio padrão da amostra e por fim multiplicar o resultado pela raiz quadrada de 252, pois dessa maneira encontraremos a volatilidade anualizada. Os valores de cotação do IBOVESPA foram obtidos através da *internet*. Após os cálculos descritos chegamos em um valor de volatilidade, tendo como referência a data-base 13/02/2017, dado por:

$$vol_a = 24,90\%$$

### 5.3.3.2. Black e Scholes

Agora que já possuímos todas as variáveis para o cálculo do modelo de Black e Scholes, o cálculo do valor de MtM dos instrumentos de opção *call vanilla*, pode ser realizado de maneira simples. Assim como no cálculo do valor de *accrual*, o valor a

ser retornado pelo modelo é referente ao valor de uma opção. Por isso é necessário sensibilizar o valor encontrado da opção com os parâmetros do COE e obter o valor de quantidade intrínseca da estrutura. Essa sensibilização é realizada da seguinte maneira:

$$PU_a = \left( \left( \frac{(S_0 N(d_1) - Ke^{-rT} N(d_2))}{S_i} \right) \times T_a \right) \times PU_e \quad (28)$$

onde:

- $PU_a$  = PU de mercado atual do instrumento do tipo opção *vanilla*  
 $S_i$  = Cotação do ativo objeto na data de emissão (valor inicial do ativo ou *spot*)  
 $T_a$  = Taxa de aderência  
 $PU_e$  = PU de Emissão do COE (conforme divulgado no DIE)

O cálculo de MtM dos instrumentos de opção deve considerar a data de *fixing* como a data final do COE, ao invés da data de vencimento, pois é a data de *fixing* onde as operações de *hedge* serão liquidadas e o emissor terá um fluxo de caixa a receber. Para a data base de 13/02/2017, vamos utilizar os seguintes valores:

Tabela 13 - Variáveis para MtM

Variável	Valor
$S_i$	57.689,41
$T_a$	120,00%
$PU_e$	1.000,00
$S_0$	66.967,64
$r$	$\ln(1 + tx) \rightarrow \ln(1 + 11,34\%) \rightarrow 0,107418397$
$\sigma$	24,90%
$T$	$\left(\frac{120}{250}\right) = 0,48$

Fonte: Elaborado pelo autor

## Ponta 2

Para  $K = 59.610,46$ , temos:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \rightarrow d_1 = \frac{\ln\left(\frac{66.967,64}{59.610,46}\right) + \left(0,1074 + \frac{0,2490^2}{2}\right) \times 0,48}{0,2490\sqrt{0,48}} \quad (29)$$

$$\rightarrow d_1 = 1,05980214298369$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \rightarrow d_2 = 1,05980214298369 - 0,2490 \times \sqrt{0,48} \quad (30)$$

$$\rightarrow d_2 = 0,887279355156306$$

$$V_a = \left( \left( \frac{(S_0 N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2))}{S_i} \right) \times T_a \right) \times PU_e$$

$$\rightarrow V_a = \left( \left( \frac{(66.967,64 \times 0,85538) - (59.610,46 \times e^{-0,1074 \times 0,48} \times 0,81253)}{57.689,41} \right) \times 1,2 \right) \times 1.000,00 \quad (31)$$

$$\rightarrow V_a = 234,683213103385$$

como a ponta 2 é uma call vanilla comprada, o valor obtido deve ser mantido em positivo:

$$V_a = 234,683213103385$$

### Ponta 3

Para  $K = 66.342,8215$ , temos:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \rightarrow d_1 = \frac{\ln\left(\frac{66.967,64}{66.342,8215}\right) + \left(0,1074 + \frac{0,2490^2}{2}\right) \times 0,48}{0,2490\sqrt{0,48}} \quad (32)$$

$$\rightarrow d_1 = 0,439568127085816$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \rightarrow d_2 = 0,439568127085816 - 0,2490 \times \sqrt{0,48} \quad (33)$$

$$\rightarrow d_2 = 0,267045339258437$$

$$\begin{aligned}
 V_a &= \left( \left( \frac{(S_0 N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2))}{S_i} \right) \times T_a \right) \times PU_e \\
 \rightarrow V_a &= \left( \left( \frac{(66.967,64 \times 0,66987) - (66.342,8215 \times e^{-0,1074 \times 0,48} \times 0,60528)}{57.689,41} \right) \times 1,2 \right) \times 1.000,00 \quad (34) \\
 \rightarrow V_a &= 139,835070758618
 \end{aligned}$$

como a ponta 2 é uma call vanilla vendida, o valor obtido deve ser convertido em negativo:

$$V_a = -139,835070758618$$

#### 5.3.4. Pu de MtM do COE

Agora que possuímos os valores de MtM de cada instrumento individualmente, o PU de MtM do COE corresponde a somatória dos PUs desses instrumentos:

$$PU_{MtM_{COE}} = \sum_{i=1}^n PU_{MtM_{instrumento_i}} \quad (35)$$

onde:

$$\begin{aligned}
 PU_{MtM_{COE}} &= PU_{ponta_1} + PU_{ponta_2} + PU_{ponta_3} \\
 \rightarrow PU_{MtM_{COE}} &= 987,56515 + 234,68321 + (-139,83507) \quad (36) \\
 \rightarrow PU_{MtM_{COE}} &= 1.082,39
 \end{aligned}$$

#### 5.3.5. Pu de MtM do COE em cenário de estresse

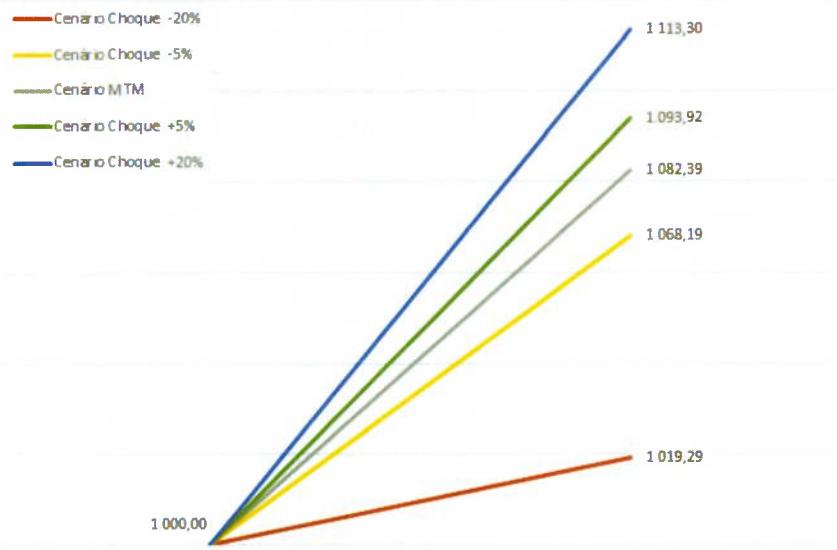
Os cenários de estresse são calculados realizando choques na cotação do ativo objeto e efetuando o cálculo de Black e Scholes após isso. Conforme exposto na seção 4.2.6, o Banco Central exige o reporte do PU de MtM do COE em 4 cenários de estresse. A tabela abaixo mostra um comparativo entre esses 4 cenários e o cenário real (sem choques):

Tabela 14 - Pu do COE em Cenário de Estresse

Cenário	Choque	PU ponta 1	Pu ponta 2	PU ponta 3	PU COE
1	-20,00%	987,54	51,14	-19,39	1.019,29
2	-5,00%	987,54	177,68	-97,03	1.068,19
3	0,00%	987,54	234,68	-139,83	1.082,39
4	+5,00%	987,54	296,29	-189,92	1.093,92
5	+20,00%	987,54	495,85	-370,10	1.113,30

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 7 - Gráfico Cenário de Estresse



## 6. Aplicação

Com o objetivo de reproduzir todos os cálculos apresentados nesse trabalho, foi desenvolvido um arquivo em Microsoft Excel onde, através de codificação VBA, foi possível implementar os cálculos necessários para *accrual* e MtM do COE proposto no capítulo anterior. A planilha encontra-se disponível para download em <http://www.thiagogorski.com.br/academico/usp/pece/monografia/> e o código VBA implementado consta no apêndice da presente monografia.

### 6.1. Coleta e tratamento dos dados

Os cálculos realizados nesse capítulo foram computados para uma data passada, no entanto todos os cálculos podem ser reproduzidos para uma data presente utilizando como insumo os dados atuais disponíveis no mercado. Os dados históricos utilizados foram obtidos a partir de fontes públicas de divulgação.

### 6.2. Organização e método

O arquivo foi dividido em diferentes planilhas com o objetivo de uma melhor organização e apresentação. Abaixo a descrição de cada planilha:

Figura 8 - Planilhas do Arquivo Excel

COE	Curva Pré	IBOVESPA	Volatilidade Histórica	Interpolação Exponencial	Feriado
-----	-----------	----------	------------------------	--------------------------	---------

- COE: planilha responsável pela entrada dos dados do COE e seus respectivos instrumentos e também a apresentação de todos os valores de *accrual* e MtM calculados;
- Curva Pré: contém os valores da curva pré-fixada para cada prazo em dia útil desde a data de emissão até a data de vencimento do COE. Os valores dessa planilha são utilizados para o cálculo de MtM dos instrumentos de renda fixa e opção;

- IBOVESPA: contém as cotações de fechamento do índice para cada data base do cálculo;
- Volatilidade Histórica: contém as cotações históricas do índice IBOVESPA, seus retornos logarítmicos e a volatilidade anualizada para cada data base do cálculo;
- Interpolação Exponencial: contém a formulação para cálculo da interpolação exponencial;
- Feriado: contém as datas de feriados nacionais para ser utilizado no cálculo de dias úteis.

### 6.3. Planilha de Volatilidade Histórica

A volatilidade histórica calculada para a especificação do COE proposto foi realizada através dos conceitos expostos no capítulo 4, onde a partir da série histórica da cotação de fechamento do Ibovespa, foi calculado o desvio padrão para os retornos logarítmicos de uma determinada quantidade de elementos da amostra e após isso o valor foi multiplicado pela raiz quadrada de 252 para que o número represente a volatilidade histórica anualizada. O *download* das cotações foi realizado a partir do site de finanças do UOL (o *link* encontra-se disponível na seção de referências). O período utilizado para a baixa das cotações foi de 01/07/2015 até 10/08/2017.

Figura 9 - Planilha de Volatilidade Histórica

	A	B	C	D	E	F	G
1	Data	Cotação	Retorno	Data Início da Série	Data Fim da Série	Desvio Padrão	Volatilidade Anualizada
276	09/08/2016	57.689,41	0,0009361384	08/03/2015	08/08/2016	0,0174412582	0,2768713911
277	10/08/2016	56.919,78	-0,0134307130	08/04/2015	08/09/2016	0,0174158456	0,2764679780
278	11/08/2016	58.299,57	0,0239518095	08/05/2015	08/10/2016	0,0174376205	0,2768136438
279	12/08/2016	58.298,41	-0,0000198974	08/06/2015	08/11/2016	0,0174982479	0,2777760736
280	15/08/2016	59.145,98	0,0144338051	08/07/2015	08/12/2016	0,0174940545	0,2777095063
281	16/08/2016	58.855,43	-0,0049245274	08/10/2015	15/08/2016	0,0174143319	0,2764439488
282	17/08/2016	59.323,83	0,0079269823	08/11/2015	16/08/2016	0,0173918993	0,2760878424
283	18/08/2016	59.166,02	-0,0026636896	08/12/2015	17/08/2016	0,0173931051	0,2761069830
284	19/08/2016	59.058,92	-0,0011347405	13/08/2015	18/08/2016	0,0173692954	0,27572290167
285	22/08/2016	57.781,24	-0,0225484946	14/08/2015	19/08/2016	0,0173611192	0,2755992230
286	23/08/2016	58.020,04	0,0041243126	17/08/2015	22/08/2016	0,0174089718	0,2763588603
287	24/08/2016	57.717,88	-0,0052214639	18/08/2015	23/08/2016	0,0174047255	0,2762914520
288	25/08/2016	57.722,14	0,0000738046	19/08/2015	24/08/2016	0,0174069211	0,2763263067
289	26/08/2016	57.716,25	-0,0001020458	20/08/2015	25/08/2016	0,0173649606	0,2756602033
290	29/08/2016	58.610,39	0,0153732216	21/08/2015	26/08/2016	0,0173650400	0,2756614643

O procedimento implementado para o cálculo da volatilidade histórica permite especificar a quantidade de elementos da amostra que serão utilizadas para

determinar o desvio padrão. Para o cálculo da volatilidade desse trabalho foram considerados 252 elementos.

#### 6.4. Planilha da Curva Pré

A planilha “Curva Pré” disponibiliza todas as taxas livre de risco para cada data base de cálculo do COE. A coluna denominada “DU a Decorrer” representa o prazo em dias úteis entre a data base e a data de vencimento, sendo que esse valor foi obtido através do processo de interpolação exponencial descrito no capítulo 4. O preenchimento dessa planilha foi realizado a partir da base de dados de curvas de uma instituição financeira do mercado nacional, no entanto, é possível reproduzir os valores existentes realizando o cálculo de interpolação exponencial para a data base e o vértice em dias úteis desejado. Os vértices para a curva podem ser obtidos diretamente no site da B3, e a planilha “Interpolação Exponencial” pode ser usada para obter o valor da taxa pré correspondente.

Figura 10 - Planilha para Curva Pré

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Data de Emissão	Data de Vencimento	Data Atual	DU Decorrido	DC Decorrido	DU A Decorrer	DC A Decorrer	Curva Pre 252	Curva Pre 252 - Capitalização Continua
2	09/08/2016	09/08/2017	09/08/2016	0	0	251	365	13,0778782%	12,2906583%
3	09/08/2016	09/08/2017	10/08/2016	1	1	250	364	13,0804937%	12,2929713%
4	09/08/2016	09/08/2017	11/08/2016	2	2	249	363	13,0904754%	12,3017980%
5	09/08/2016	09/08/2017	12/08/2016	3	3	248	362	13,0821531%	12,2944387%
6	09/08/2016	09/08/2017	15/08/2016	4	6	247	359	13,0922906%	12,3034030%
7	09/08/2016	09/08/2017	16/08/2016	5	7	246	358	13,1294758%	12,3362780%
8	09/08/2016	09/08/2017	17/08/2016	6	8	245	357	13,1342391%	12,3404884%
9	09/08/2016	09/08/2017	18/08/2016	7	9	244	356	13,1719131%	12,3737832%
10	09/08/2016	09/08/2017	19/08/2016	8	10	243	355	13,1319114%	12,3384309%
11	09/08/2016	09/08/2017	22/08/2016	9	13	242	352	13,1496508%	12,3541100%
12	09/08/2016	09/08/2017	23/08/2016	10	14	241	351	13,1364268%	12,3424221%

#### 6.5. Planilha do IBOVESPA

A planilha “IBOVESPA” contém a série histórica da cotação de fechamento do índice IBOVESPA para todas as datas entre a data de emissão e a data de vencimento do COE proposto. O valor da volatilidade na planilha é obtido através da função PROCV do Microsoft Excel, usando como fonte a planilha de “Volatilidade Histórica”. Além da cotação de fechamento, é possível observar as cotações nos cenários de estresse introduzidos no capítulo 4 desse trabalho.

Figura 11 - Planilha para IBOVESPA

	A	B	C	D	E	F	G
1	Data Referência	IBOVESPA	Vol Anualizada	Stress: -20%	Stress: -5%	Stress: +5%	Stress: +20%
2	09/08/2016	57.689,41	27,69%	46.151,53	54.804,94	60.573,88	69.227,29
3	10/08/2016	56.919,78	27,65%	45.535,82	54.073,79	59.765,77	68.303,74
4	11/08/2016	58.299,57	27,68%	46.639,66	55.384,59	61.214,55	69.959,48
5	12/08/2016	58.298,41	27,78%	46.638,73	55.383,49	61.213,33	69.958,09
6	15/08/2016	59.145,98	27,77%	47.316,78	56.188,68	62.103,28	70.975,18
7	16/08/2016	58.855,43	27,64%	47.084,34	55.912,66	61.798,20	70.626,52
8	17/08/2016	59.323,83	27,61%	47.459,06	56.357,64	62.290,02	71.188,60
9	18/08/2016	59.166,02	27,61%	47.332,82	56.207,72	62.124,32	70.999,22
10	19/08/2016	59.098,92	27,57%	47.279,14	56.143,97	62.053,87	70.918,70
11	22/08/2016	57.781,24	27,56%	46.224,99	54.892,18	60.670,30	69.337,49
12	23/08/2016	58.020,04	27,64%	46.416,03	55.119,04	60.921,04	69.624,05
13	24/08/2016	57.717,88	27,63%	46.174,30	54.831,99	60.603,77	69.261,46
14	25/08/2016	57.722,14	27,63%	46.177,71	54.836,03	60.608,25	69.266,57
15	26/08/2016	57.716,25	27,57%	46.173,00	54.830,44	60.602,06	69.259,50

## 6.6. Planilha COE

A planilha “COE” é a planilha utilizada para a inclusão de todos os parâmetros para especificação de uma estrutura do tipo *call spread* e também é responsável por executar o cálculo de *accrual* e *MtM* para todas as datas de dia útil compreendidas entre a data de emissão e a data de vencimento. Essa planilha foi preenchida com os dados do COE proposto no capítulo 5 desse trabalho.

Figura 12 - Planilha para COE Call Spread

A	B
1 COE	
2 Estrutura	Call Spread
3 Data de Emissão	09/08/2016
4 Data de Vencimento	09/08/2017
5 Data de Fixing das opções	08/08/2017
6 Prazo em Dias Corridos	365
7 Prazo em Dias Úteis	251
8 Pu de Emissão	1.000,00
9 Modalidade	Capital Garantido
10 Percentual do Capital Garantido	100,00%
11 Ativo Subjacente	IBOVESPA
12 Posição do Emissor no Derivativo	Vendido
13 Percentual de Participação no Cenário de Alta	120,00%
14 Limitador no Cenário de Alta	115,00%
15	
16 Quebra por Instrumentos	
17 Ponta 1	
18 Classe	Renda Fixa
19 Indexador	Pré
20 Tipo de Remunerador	ao ano
21 Percentual do Remunerador	4,00%
22 Ponta 2	
23 Classe	Call Vanilla
24 Ativo Subjacente	IBOVESPA
25 Posição	Comprado
26 Valor Inicial do Ativo Subjacente	57689,41
27 Strike (em %)	103,33%
28 Strike (em valor)	59610,46
29 Taxa de Aderência	120,00%
30 Ponta 3	
31 Classe	Call Vanilla
32 Ativo Subjacente	IBOVESPA
33 Posição	Vendido
34 Valor Inicial do Ativo Subjacente	57689,41
35 Strike (em %)	115,00%
36 Strike (em valor)	66342,8215
37 Taxa de Aderência	120,00%
38	Calcular COE
39	

Ao clicar no botão denominado “Calcular COE” será apresentada uma mensagem solicitando a confirmação do cálculo, após a confirmação o cálculo será iniciado. A evolução do cálculo pode ser acompanhada pela barra de status do Microsoft Excel. Ao término do cálculo todos os valores de *accrual* e MtM serão preenchidos e será apresentada uma mensagem informando que o cálculo foi concluído.

#### 6.6.1. Cálculo de Accrual e MtM

Os cálculos executados pela planilha referem-se às metodologias apresentadas no capítulo 4 e que foram exemplificadas, para uma data-base particular, no

capítulo 5. A vantagem da planilha é permitir realizar o cálculo para todas as datas e com isso manter uma “memória de cálculo” para o produto, possibilitar a geração de gráficos comparativos e ainda permitir a geração de cálculos com valores arbitrários aos informados, permitindo assim diferentes cenários de simulação para cálculo.

Na imagem a seguir, podemos verificar os cálculos para os 3 dias após a emissão e os 3 dias antes do vencimento do COE.

Figura 13 - Planilha COE - Cálculo de Accrual e MTM

Data	Accrual			Precificação			MTM		
	Ponta 1	Ponta 2	Ponta 3	COE	Ponta 1	Ponta 2	Ponta 3	COE	
09/08/2016	1.000,0000000	0,000000	0,000000	1.000,0000000	920,0256002	184,7480798	-123,2939690	981,4797111	
10/08/2016	1.000,1556499	0,000000	0,000000	1.000,1556499	920,4533075	173,3226836	-114,2671725	979,5088186	
11/08/2016	1.000,3113240	0,000000	0,000000	1.000,3113240	920,8221152	192,3860761	-129,1032335	984,1049579	
07/08/2017	1.039,5145236	173,2560621	-33,2159091	1.179,5546766	1.039,1164282	173,6898892	-33,9950504	1.178,8112670	
08/08/2017	1.039,6763239	172,4090436	-32,3688906	1.179,7164769	1.039,4773168	172,4090436	-32,3688906	1.179,5174698	
09/08/2017	1.039,8381493	172,4090436	-32,3688906	1.179,8783023	1.039,8381493	172,4090436	-32,3688906	1.179,8783023	

É possível observar que o COE proposto foi liquidado com o cenário **C** de rentabilidade (conforme descrito na tabela *Cenários de Rentabilidade*), sendo que o valor de liquidação apresentou uma rentabilidade de 17,98% no período:

$$PU_f = PU_i \times 17,98\% \rightarrow PU_f = 1.000,00 \times 1,1798 = 1.1179,80 \quad (37)$$

onde:

$PU_f$  = PU final (PU de liquidação)

$PU_i$  = PU inicial (PU de emissão)

Essa condição de rentabilidade apenas foi atingida, pois a cotação do IBO-VESPA na data de *fixing* foi de 67.898,94 e a cotação inicial da estrutura era de 57.689,41 o que representa uma alta de 17,69%, superando assim o limitador de alta de 15% (66.342,8215) que foi definido para esse COE. Esse limitador de alta refere-se ao *strike* do instrumento *call vanilla* com posição vendida (ponta 3).

Figura 14 - IBOVESPA - Diário e Limitador



Ao verificar o gráfico de *payoff*, para o período acima, podemos observar com clareza o limitador de alta da estrutura:

Figura 15 - Gráfico de Payoff – Acrual e MtM



O limitador da estrutura também é facilmente observado nos cenários de estresse, conforme abaixo:

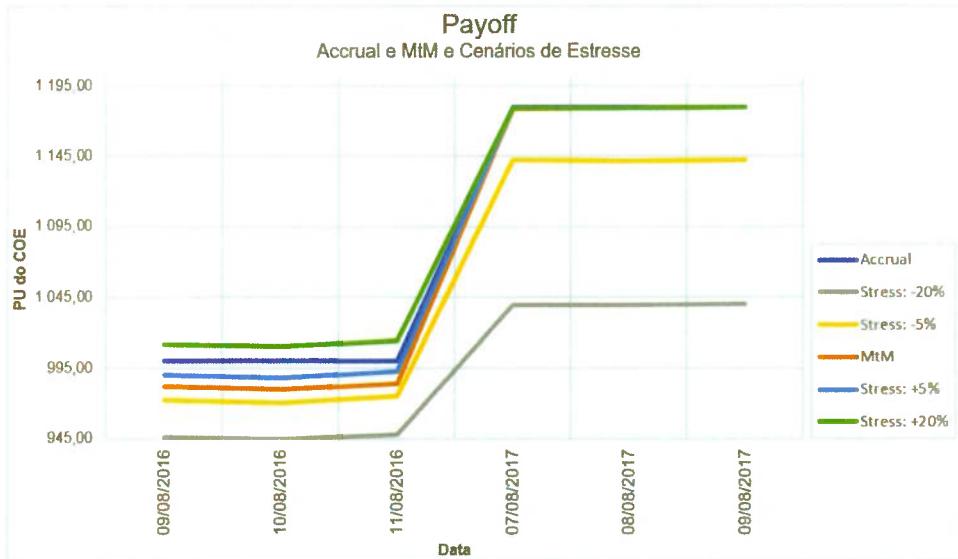
Figura 16 - Planilha COE - Cenários de Estresse – Ponta 2 e Ponta 3

Data	Ponta 2					Cenário de Stress: Ativo Subjacente				Ponta 3				
	Stress: -20%	Stress: -5%	Stress: +5%	Stress: +20%		Stress: -20%	Stress: -5%	Stress: +5%	Stress: +20%		Stress: -20%	Stress: -5%	Stress: +5%	Stress: +20%
09/08/2016	57,6513963	146,0523349	227,3226541	373,1408105		-31,7870167	-93,6352859	-157,2532589	-281,4310844					
10/08/2016	52,6130098	136,2545035	214,3150543	355,8342670		-28,5441659	-86,2148519	-146,5881392	-265,9925784					
11/08/2016	60,7437244	152,4884975	236,1534128	385,3168155		-33,6824828	-98,3153058	-164,2418847	-291,9947718					
07/08/2017	0,0000000	103,0290937	244,3506846	456,3330710		0,0000000	-0,1631775	-104,3595279	-316,3419141					
08/08/2017	0,0000000	101,7905991	243,0274881	454,8828217		0,0000000	0,0000000	-102,9873351	-314,8426687					
09/08/2017	0,0000000	101,7905991	243,0274881	454,8828217		0,0000000	0,0000000	-102,9873351	-314,8426687					

Figura 17 - Planilha COE - Cenários de Accrual, MtM e Estresse

Data	Precificação		Cenário de Stress: Ativo Subjacente				
	Accrual	MTM	COE	Stress: -20%	Stress: -5%	Stress: +5%	Stress: +20%
09/08/2016	1.000,0000000	981,4797111	945,8899798	972,4426492	990,0949954	1.011,7353263	
10/08/2016	1.000,1556499	979,5088186	944,5221514	970,4929591	988,1802225	1.010,2949962	
11/08/2016	1.000,3113240	984,1049579	947,8833568	974,9953070	992,7336433	1.014,1441590	
07/08/2017	1.179,5546766	1.178,8112670	1.039,1164282	1.141,9823444	1.179,1075849	1.179,1075851	
08/08/2017	1.179,7164769	1.179,5174698	1.039,4773168	1.141,2679159	1.179,5174698	1.179,5174698	
09/08/2017	1.179,8783023	1.179,8783023	1.039,8381493	1.141,6287484	1.179,8783023	1.179,8783023	

Figura 18 - Gráfico de Payoff - Cenário de Estresse



Conforme esperado, os valores de *accrual* e *MtM* convergem para o mesmo valor no vencimento, tanto para a estrutura fechada do COE, como para cada instrumento que a compõem. Nos gráficos apresentados nessa seção, é possível observar que os valores de *accrual* dos instrumentos de opção apresentam grande variação com relação ao valor de *MtM*, isso ocorre, pois, o PU de *accrual* dos instrumentos de

opção foram calculados, para cada data de dia útil, conforme a equação (2) apresentada na seção 4.1.2, dessa maneira não foi adotada a abordagem de considerar o PU de accrual dos instrumentos de opção como zero até a data de *fixing*.

Figura 19 - Cálculo Diário - Accrual e MtM

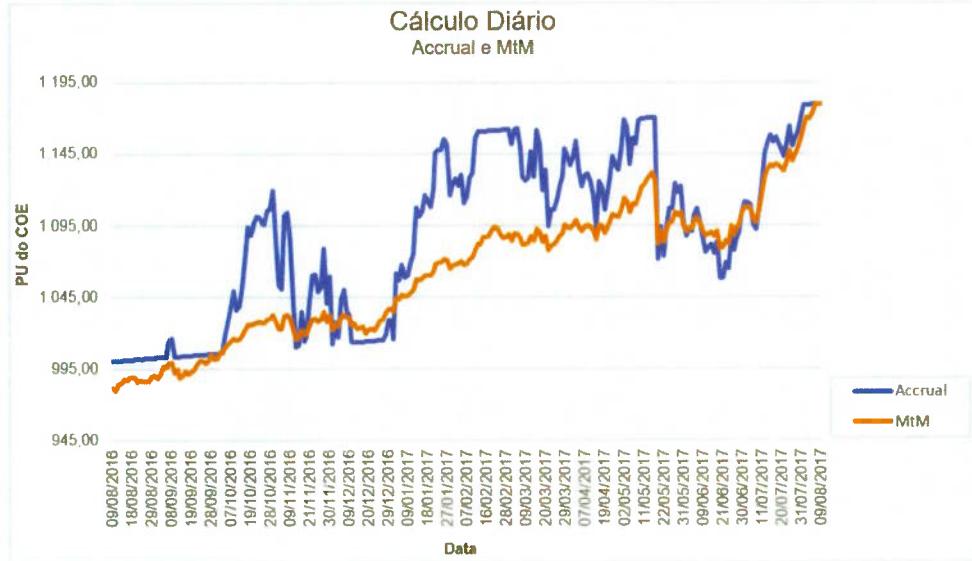


Figura 20 - Cálculo Diário - Instrumento de Renda Fixa - Accrual e MtM

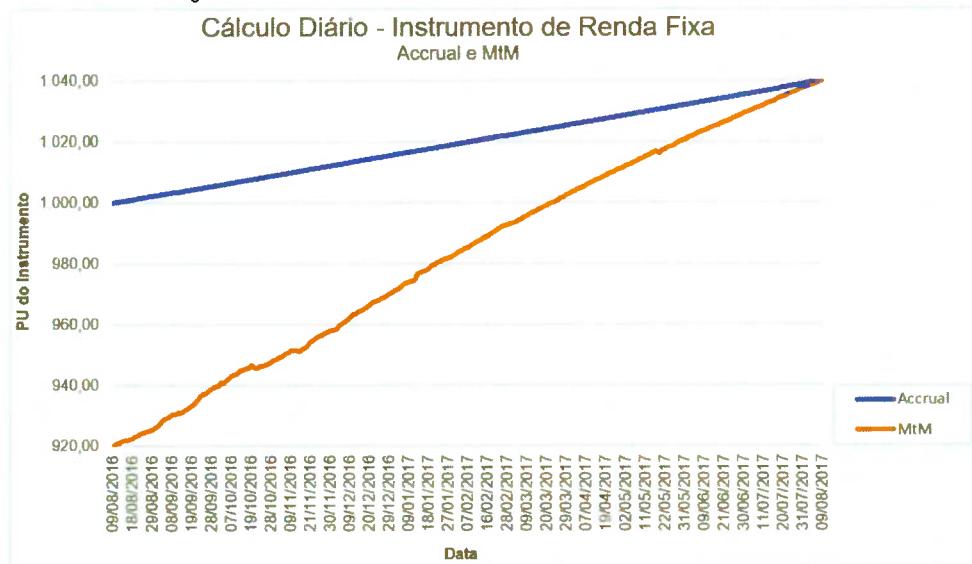


Figura 21 - Cálculo Diário - Instrumento de Opção Call Comprada - Accrual e MtM

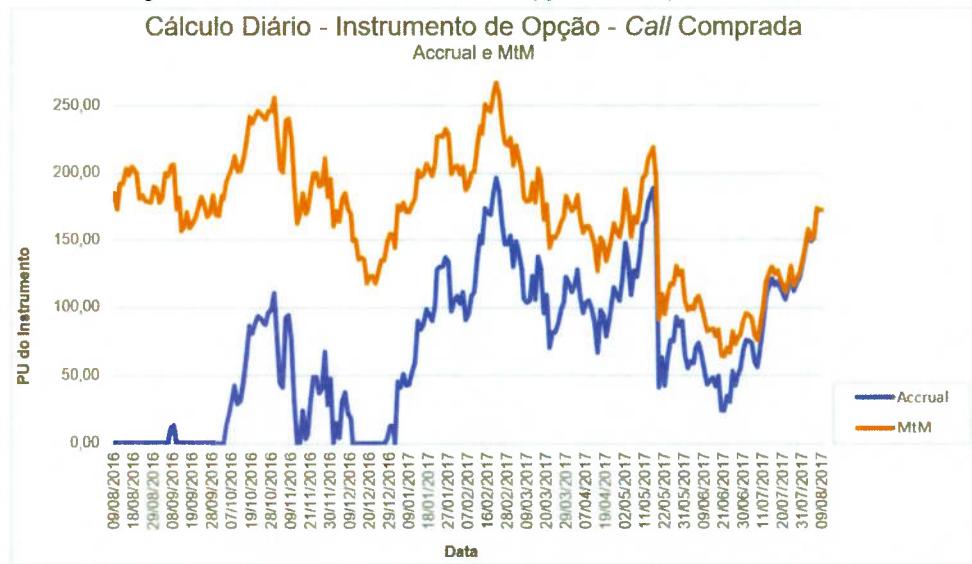
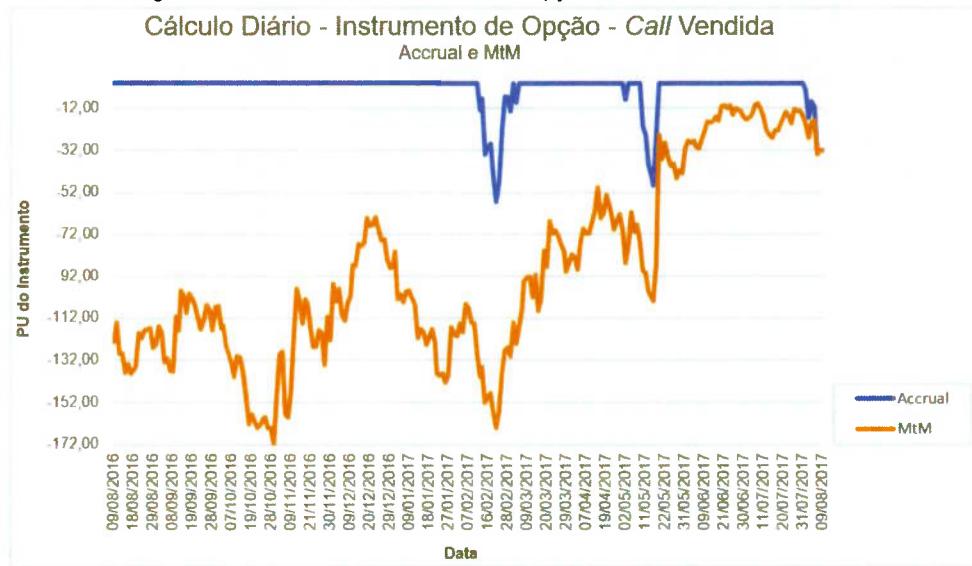


Figura 22 - Cálculo Diário - Instrumento de Opção Call Vendida - Accrual e MtM



Através da calculadora *online* disponível no site da CETIP, é possível realizar o cálculo de uma operação de renda fixa indexada a 100% do CDI (por exemplo um CDB), para o mesmo período e constatar que rentabilidade bruta foi de 12,39% contra a rentabilidade bruta de 17,98% do COE proposto.

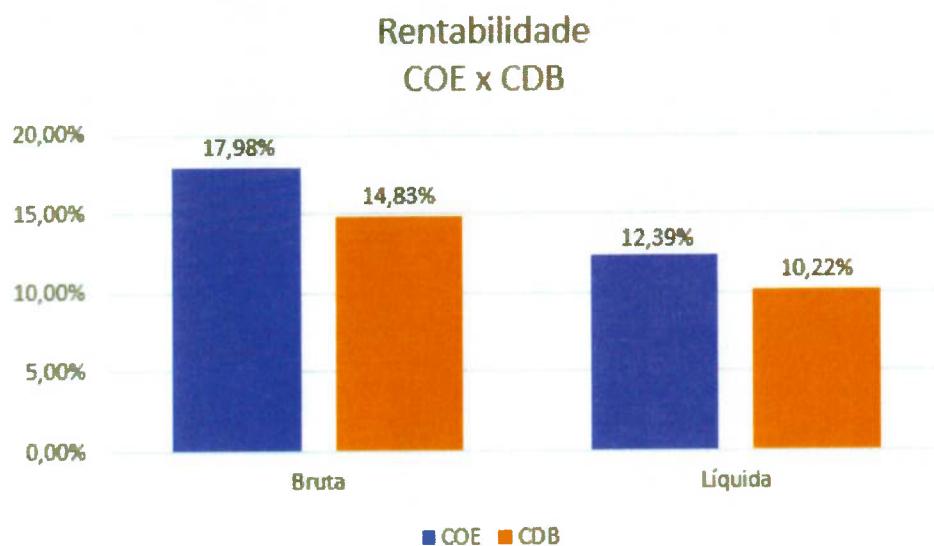
Suponha que um investidor tenha adquirido 50 quantidades desse COE na data de emissão, e o mesmo esteja sujeito aos regimes de tributação da Receita Federal, no vencimento teríamos a seguinte situação:

Tabela 15 - Comparativo COE x CDB

	COE	CDB 100% CDI
Prazo em dias corridos	365	365
Pu de Emissão	1.000,00	1.000,00
Quantidade	50	50
Valor do investimento	50.000,00	50.000,00
Pu de liquidação	1.179,87	1.123,85
Valor bruto de resgate	58.993,50	56.192,50
Aliquota de IR	17,5%	17,5%
Valor de IR	1.573,86	1.083,69
Valor líquido de resgate	57.419,64	55.108,81
Rentabilidade bruta	17,98%	12,39%
Rentabilidade líquida	14,83%	10,22%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 23 - Rentabilidade COE x CDB



## 7. Conclusão

O Certificado de Operações Estruturadas, trata-se de um derivativo utilizado como meio de captação através das instituições financeiras. Esse produto é estruturado através de instrumentos financeiros mais simples como os instrumentos de renda fixa e opções, desde que não caracterize linearidade com um instrumento financeiro básico. Por tratar-se de um contrato entre “parte” e “contraparte” é necessário que seja registrado em uma *clearing* (B3), sendo que essa já disponibiliza diversas estruturas para registro. As estruturas podem ser atreladas a diferentes classes de ativos objeto (subjacente), desde que esse ativo possua cotações (preços ou valores) regularmente calculados e divulgados de maneira pública, como por exemplo: ação nacional, ação internacional, índices de bolsa nacional, índices de bolsas internacionais, moedas e *commodities*.

Quando o investidor aplica em um produto COE está aplicando em um produto indexado ao ativo subjacente e não diretamente no ativo subjacente, possibilitando uma maior diversificação em seu portfólio. Por mais complexa que uma estrutura de COE possa ser, o resultado de *accrual* e *MtM* será sempre a somatória dos resultados de *accrual* e *MtM* de cada instrumento individual que compõem a estrutura. A tributação do produto segue a tabela regressiva de imposto de renda para aplicações financeiras (padrão renda fixa). Com o cenário atual da queda das taxas de juros básicos no Brasil, o produto COE, por unificar instrumentos de renda fixa e renda variável (derivativos), pode ser uma boa alternativa na busca de maiores rentabilidades por parte dos investidores não-institucionais, sem incorrer necessariamente nos riscos inerentes aos mercados de renda variável, bem como nos complexos controles operacionais que o envolvem.

Ao revisitar a literatura sobre precificação, foi apresentado os conceitos de cálculo de *accrual* e *MtM* para os instrumentos financeiros básicos de uma estrutura do tipo *call spread*, demonstrando que tais cálculos correspondem aos instrumentos de renda fixa pré-fixada e de uma opção *call vanilla*. Com base nos conceitos da estrutura *call spread*, foi apresentado a metodologia para decomposição de um produto COE em seus instrumentos básicos. A aplicação realizada permitiu verificar o cálculo de cada instrumento financeiro individualmente ao longo de todo o período da operação e como a combinação desses instrumentos resulta nos *payoffs* propostos pelo

emissor. Um ponto a ser explorado nos conceitos apresentados é utilizar a volatilidade implícita para a precificação do modelo de Black e Scholes, pois essa medida de volatilidade apresenta melhor aderência aos modelos atuais utilizados pelos emissores de produtos estruturados. Ao executar a aplicação dos cálculos implementados pela planilha é possível obter toda a memória de cálculo para o produto com o diferencial de obter os cenários de estresse solicitados pelo Banco Central.

Ao realizar a comparação da rentabilidade, para o mesmo período, entre o COE precificado nessa monografia e um produto simples de renda fixa (CDB), é possível observar que o COE apresentou uma melhor rentabilidade.

## REFERÊNCIAS

B3. **Taxas referenciais BM&FBOVESPA** . Disponível em: <[http://www.bmfbovespa.com.br/pt\\_br/servicos/market-data/consultas/mercado-de-derivativos/precos-referenciais/taxas-referenciais-bm-fbovespa/](http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/servicos/market-data/consultas/mercado-de-derivativos/precos-referenciais/taxas-referenciais-bm-fbovespa/)>. Acesso em: 29 jan. 2018.

B3. **Volatilidades dos Ativos** . Disponível em: <[http://www.bmfbovespa.com.br/pt\\_br/servicos/market-data/consultas/mercado-a-vista/volatilidades-dos-ativos/](http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/servicos/market-data/consultas/mercado-a-vista/volatilidades-dos-ativos/)>. Acesso em: 18 jan. 2018.

Banco Central do Brasil. **CIRCULAR Nº 3.684, DE 20 DE NOVEMBRO DE 2013** . Disponível em: <[http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/busca/downloadNormativo.asp?arquivo=/Lists/Normativos/Attachments/48830/Circ\\_3684\\_v1\\_O.pdf](http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/busca/downloadNormativo.asp?arquivo=/Lists/Normativos/Attachments/48830/Circ_3684_v1_O.pdf)>. Acesso em: 19 fev. 2018.

Banco Central do Brasil. **Dados diários** . Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdiarios.asp>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

Banco Central do Brasil. **RESOLUÇÃO Nº 4.263, DE 5 DE SETEMBRO DE 2013** . Disponível em: <[https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2013/pdf/res\\_4263\\_v1\\_O.pdf](https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2013/pdf/res_4263_v1_O.pdf)>. Acesso em: 19 fev. 2018.

Banco Central do Brasil. **RESOLUÇÃO Nº 3505** . Disponível em: <[https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/busca/downloadNormativo.asp?arquivo=/Lists/Normativos/Attachments/48018/Res\\_3505\\_v1\\_O.pdf](https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/busca/downloadNormativo.asp?arquivo=/Lists/Normativos/Attachments/48018/Res_3505_v1_O.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2018.

Banco Safra. **MANUAL DE MARCAÇÃO A MERCADO** . Disponível em: <<http://www.safranet.com.br/conteudo/asset/marcacao/marcacao.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

CETIP. **CALCULADORA DI - CETIP**. Disponível em: <<https://www.cetip.com.br/renda-fixa/calculadora-di>>. Acesso em: 21 jan. 2018.

CETIP. **CERTIFICADO DE OPERAÇÕES ESTRUTURADAS**. Disponível em: <<https://www.cetip.com.br/coe>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

CETIP. **Metodologia Cetip de Marcação a Mercado** . Disponível em: <<http://www.cetip.com.br/upload/Pagina/dc66572d-0296-48fe-8a84-785dc12c392f.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

**CETIP. PRINCÍPIOS E INSTRUÇÕES RELATIVOS ÀS OPERAÇÕES DE CERTIFICADOS DE OPERAÇÕES ESTRUTURADAS (COE)** . Disponível em: <<https://www.cetip.com.br/upload/pagina/2d61d127-344b-413a-b70c-fa353d920cdc.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

**CVM. INSTRUÇÃO CVM Nº 569, DE 14 DE OUTUBRO DE 2015** . Disponível em: <<http://www.cvm.gov.br/export/sites/cvm/legislacao/instrucoes/anexos/500/Inst569.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

**Deutsche Bank. MANUAL DE MARCAÇÃO A MERCADO** . Disponível em: <[https://www.db.com/brazil/pt/docs/Manual\\_de\\_Marcacao\\_a\\_Mercado\\_de\\_Fundos.pdf](https://www.db.com/brazil/pt/docs/Manual_de_Marcacao_a_Mercado_de_Fundos.pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2018.

**HAUG, Espen Gaarder. Option Pricing Formulas** . 2<sup>a</sup>. ed. New York: McGraw Hill, 2007. 536 p.

**HULL, John C. Opções, Futuros e Outros Derivativos** . 9<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Bookman, 2016. 968 p.

**KONDO, DANIEL YUDI SASAHARA. MODELOS DE ESTIMAÇÃO DAS VOLATILIDADES E O SEU IMPACTO NO CÁLCULO DO VALOR EM RISCO DE UMA CARTEIRA DE ATIVOS FINANCEIROS** . 2008. 117 p. Monografia (Engenheiro de Produção)- Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://pro.poli.usp.br/wp-content/uploads/2012/pubs/modelos-de-estimacao-das-volatilidades-e-o-seu-impacto-no-calcular-do-valor-em-risco-de-uma-carteira-de-ativos-financeiros.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

**MANKIW, N. Gregory. Introdução à Economia** . 6<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015. 824 p.

**SANTANDER. MANUAL DE MARCAÇÃO A MERCADO** . Disponível em: <[https://www.santander.com.br/document/wps/Manual\\_MtM\\_Santander\\_Asset.pdf](https://www.santander.com.br/document/wps/Manual_MtM_Santander_Asset.pdf)>. Acesso em: 09 fev. 2018.

**SECURATO, José Roberto. Cálculo Financeiro das Tesourarias : Bancos e Empresas.** 4<sup>a</sup>. ed. São Paulo: SaintPaul, 2008. 432 p.

**SECURATO, José Roberto. Mercado Financeiro** . 3<sup>a</sup>. ed. São Paulo: SaintPaul, 2009. 378 p.

**TOMBINI, Alexandre Antonio. RESOLUÇÃO Nº 4.263, DE 5 DE SETEMBRO DE 2013** . Disponível em: <[https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2013/pdf/res\\_4263\\_v1\\_O.pdf](https://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2013/pdf/res_4263_v1_O.pdf)>. Acesso em: 05 fev. 2018.

UOL. Histórico de Cotações Bovespa . Disponível em:  
<<http://cotacoes.economia.uol.com.br/bolsas/cotacoes-historicas.html?indice=.BVSP>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

ZENARO, Fábio José de Almeida. **Certificado de Operações Estruturadas (COE)** . 1<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Atlas, 2014. 129 p.

## APÊNDICE A: Código VBA – Cálculo Opção

A formatação e a fonte dessa seção foram alteradas para possibilitar uma melhor visualização

Nome do módulo: mdlOpcaoVanilla

```

Option Explicit
Private Function sensiliarValor(ByVal pvDblValor As Double, _
                                   ByVal pvDblCotacaoInicial As Double, _
                                   ByVal pvDblTaxaAderencia As Double, _
                                   ByVal pvDblPuEmissao As Double, _
                                   ByVal pvStrPosicao As String) As Double

    Dim lDblRetorno As Double
    lDblRetorno = pvDblValor

    lDblRetorno = lDblRetorno / pvDblCotacaoInicial
    lDblRetorno = lDblRetorno * pvDblTaxaAderencia
    lDblRetorno = lDblRetorno * pvDblPuEmissao

    If Trim(UCase(pvStrPosicao)) = mdlConfiguracao.VENDIDO Then
        lDblRetorno = lDblRetorno * mdlConfiguracao.MENOS_UM
    End If

    sensiliarValor = lDblRetorno
End Function

Public Function calcularOpcaoVanillaCallAccrual(ByVal pvStrDataAtual As String, _
                                                 ByVal pvStrDataFixing As String, _
                                                 ByVal pvDblCotacaoInicial As Double, _
                                                 ByVal pvDblStrike As Double, _
                                                 ByVal pvDblChoque As Double, _
                                                 ByVal pvDblTaxaAderencia As Double, _
                                                 ByVal pvDblPuEmissao As Double, _
                                                 ByVal pvStrPosicao As String) As Double

    Dim lDblRetorno As Double
    Dim lStrData As String
    Dim lDblCotacao As Double

    lStrData = pvStrDataAtual

    '[Verificar a Data de Fixing]
    If CDate(lStrData) > CDate(pvStrDataFixing) Then
        lStrData = pvStrDataFixing
    End If

    lDblCotacao = mdlIbovespa.obterCotacaoComChoque(lStrData, pvDblChoque)

    lDblRetorno = Application.WorksheetFunction.Max(0, lDblCotacao - pvDblStrike)

    lDblRetorno = sensiliarValor(lDblRetorno, _
                                 pvDblCotacaoInicial, _
                                 pvDblTaxaAderencia, _
                                 pvDblPuEmissao, _
                                 pvStrPosicao)

    calcularOpcaoVanillaCallAccrual = lDblRetorno
End Function

Private Function calcularBlackScholesCall(ByVal pvStrDataAtual As String, _
                                         ByVal pvStrDataEmissao As String, _
                                         ByVal pvStrDataFixing As String, _
                                         ByVal pvDblCotacaoInicial As Double, _
                                         ByVal pvDblStrike As Double, _
                                         ByVal pvDblTaxaDividendos As Double, _
                                         ByVal pvDblChoqueAtivoObjeto As Double, _
                                         ByVal pvDblTaxaAderencia As Double, _
                                         ByVal pvDblPuEmissao As Double, _
                                         ByVal pvStrPosicao As String) As Double

```

```

Dim lDblCotacaoAtual As Double
Dim lDblVolatilidade As Double
Dim lDblD1 As Double
Dim lDblD2 As Double
Dim lDblPrazo As Double
Dim lDblCurvaPre As Double
Dim lDblRetorno As Double

lDblCotacaoAtual = mdlIbovespa.obterCotacaoComChoque(pvStrDataAtual, pvDblChoqueAtivoObjeto)
lDblVolatilidade = mdlIbovespa.obterVolatilidade(pvStrDataAtual)

lDblPrazo = mdlData.obterDU(pvStrDataAtual, pvStrDataFixing) / _
            mdlData.obterDU(pvStrDataEmissao, pvStrDataFixing)

lDblCurvaPre = VBA.Log(1 + mdlCurvaPre.obterTaxaPreBase252(pvStrDataAtual))

lDblD1 = (VBA.Log(lDblCotacaoAtual / pvDblStrike) + 
           (lDblCurvaPre - pvDblTaxaDividendos + (1 / 2) * 
             (lDblVolatilidade ^ 2)) * lDblPrazo) / (lDblVolatilidade * VBA.Sqr(lDblPrazo))

lDblD2 = lDblD1 - lDblVolatilidade * (VBA.Sqr(lDblPrazo))

lDblRetorno = (lDblCotacaoAtual * VBA.Exp(-pvDblTaxaDividendos * lDblPrazo) * WorksheetFunc-
tion.Norm_S_Dist(lDblD1, True)) - 
              (pvDblStrike * -VBA.Exp(-lDblCurvaPre * lDblPrazo)) * WorksheetFunc-
              tion.Norm_S_Dist(lDblD2, True)

lDblRetorno = sensibilizarValor(lDblRetorno, 
                                pvDblCotacaoInicial, 
                                pvDblTaxaAderencia, 
                                pvDblPuEmissao, 
                                pvStrPosicao)

calcularBlackScholesCall = lDblRetorno

End Function

Public Function calcularOpciaoVanillaCallMTM(ByVal pvStrDataAtual As String, _
                                              ByVal pvStrDataEmissao As String, _
                                              ByVal pvStrDataFixing As String, _
                                              ByVal pvDblCotacaoInicial As Double, _
                                              ByVal pvDblStrike As Double, _
                                              ByVal pvDblChoqueAtivoObjeto As Double, _
                                              ByVal pvDblTaxaAderencia As Double, _
                                              ByVal pvDblPuEmissao As Double, _
                                              ByVal pvStrPosicao As String) As Double

Dim lStrData As String
Dim lDblRetorno As Double

'[Verificar a Data de Fixing]
lStrData = pvStrDataAtual

If CDate(lStrData) >= CDate(pvStrDataFixing) Then

    '[Quando atinge o Fixing, o valor de MTM é o valor de accrual]
    lDblRetorno = calcularOpciaoVanillaCallAccrual(pvStrDataAtual, _
                                                    pvStrDataFixing, 
                                                    pvDblCotacaoInicial, 
                                                    pvDblStrike, 
                                                    pvDblChoqueAtivoObjeto, 
                                                    pvDblTaxaAderencia, 
                                                    pvDblPuEmissao, 
                                                    pvStrPosicao)

Else

    lDblRetorno = calcularBlackScholesCall(pvStrDataAtual, pvStrDataEmissao, pvStrDataFi-
                                             xing, pvDblCotacaoInicial, pvDblStrike, 0, pvDblChoqueAtivoObjeto, pvDblTaxaAderencia, pvDbl-
                                             PuEmissao, pvStrPosicao)

End If

calcularOpciaoVanillaCallMTM = lDblRetorno

End Function

```

## APÊNDICE B: Código VBA – Cálculo Renda Fixa

A formatação e a fonte dessa seção foram alteradas para possibilitar uma melhor visualização

Nome do módulo: mdlRendaFixa

```

Option Explicit

Public Function calcularRendaFixaPreAoAnoAccrual(ByVal pvStrDataAtual As String, _
                                                    ByVal pvStrDataEmissao As String, _
                                                    ByVal pvDblPuEmissao As Double, _
                                                    ByVal pvDblTaxa As Double) As Double

    Dim lDblPrazoDecorrido As Double
    Dim lDblRetorno         As Double

    lDblPrazoDecorrido = mdlData.obterDU(pvStrDataEmissao, pvStrDataAtual)
    lDblRetorno = pvDblPuEmissao * ((1 + pvDblTaxa) ^ (lDblPrazoDecorrido / 252))
    calcularRendaFixaPreAoAnoAccrual = lDblRetorno

End Function

Public Function calcularRendaFixaPreAoAnoMTM(ByVal pvStrDataAtual As String, _
                                                ByVal pvStrDataEmissao As String, _
                                                ByVal pvStrDataVencimento As String, _
                                                ByVal pvDblPuEmissao As Double, _
                                                ByVal pvDblTaxa As Double) As Double

    Dim lDblCurvaPre        As Double
    Dim lDblPrazoTotal      As Double
    Dim lDblPrazoADecorrer As Double
    Dim lDblRetorno          As Double

    lDblCurvaPre = mdlCurvaPre.obterTaxaPreBase252(pvStrDataAtual)
    lDblPrazoTotal = mdlData.obterDU(pvStrDataEmissao, pvStrDataVencimento)
    lDblPrazoADecorrer = mdlData.obterDU(pvStrDataAtual, pvStrDataVencimento)

    lDblRetorno = pvDblPuEmissao * (((1 + pvDblTaxa) ^ (lDblPrazoTotal / 252)) / ((1 + lDblCurvaPre) ^ (lDblPrazoADecorrer / 252)))
    calcularRendaFixaPreAoAnoMTM = lDblRetorno

End Function

```

## APÊNDICE C: Código VBA – Cálculo Volatilidade Histórica

A formatação e a fonte dessa seção foram alteradas para possibilitar uma melhor visualização

Nome do módulo: mdlVolatilidade

```
Option Explicit
```

```
Public Sub calcularVolatilidadeHistorica(ByVal pvStrDataInicial As String,
                                         ByVal pvIntNumeroObservacao As Integer)

    Dim lLngLinha          As Long
    Dim lLngLinhaInicial   As Long
    Dim lLngLinhaFinal     As Long

    Dim lDblDesvioPadrao   As Double
    Dim lDblVolatilidadeAnualizada As Double

    lLngLinhaInicial      = shtVolatilidade.Range("A:A").Find(DateValue(pvStrDataInicial),
    LookIn:=xlValues).Row
    lLngLinhaFinal = shtVolatilidade.Range("A:A").End(xlDown).Row

    For lLngLinha = lLngLinhaInicial To lLngLinhaFinal
        lDblDesvioPadrao = WorksheetFunction.StDev_S(shtVolatilidade.Range("C" & lLngLinha -
        pvIntNumeroObservacao & ":C" & lLngLinha - 1))
        lDblVolatilidadeAnualizada = lDblDesvioPadrao * Sqr(252)

        shtVolatilidade.Range("D" & lLngLinha) = shtVolatilidade.Range("A" & lLngLinha - pvIntNu-
        meroObservacao).Value
        shtVolatilidade.Range("E" & lLngLinha) = shtVolatilidade.Range("A" & lLngLinha - 1).Value

        shtVolatilidade.Range("F" & lLngLinha) = lDblDesvioPadrao
        shtVolatilidade.Range("G" & lLngLinha) = lDblVolatilidadeAnualizada

    Next lLngLinha
End Sub
```

## APÊNDICE D: Código VBA – Cálculo Ibovespa

A formatação e a fonte dessa seção foram alteradas para possibilitar uma melhor visualização

Nome do módulo: mdllbovespa

```
Option Explicit
```

```
Public Function obterCotacao(ByVal pvStrData As String) As Double
    obterCotacao = WorksheetFunction.VLookup(CLng(CDate(pvStrData)), shtIbovespa.Range("A:B"),
2, False)
End Function

Public Function obterCotacaoComChoque(ByVal pvStrData As String,
                                         ByVal pvDblChoque As Double) As Double

    Dim lDblRetorno As Double

    lDblRetorno = obterCotacao(pvStrData)

    lDblRetorno = lDblRetorno * (1 + pvDblChoque)

    obterCotacaoComChoque = lDblRetorno

End Function

Public Function obterVolatilidade(ByVal pvStrData As String) As Double
    obterVolatilidade = WorksheetFunction.VLookup(CLng(CDate(pvStrData)),
shtIbovespa.Range("A:C"), 3, False)
End Function
```

## APÊNDICE E: Código VBA – Cálculo COE

A formatação e a fonte dessa seção foram alteradas para possibilitar uma melhor visualização

Nome do módulo: mdlCOE

Option Explicit

```
Private Sub calcularAccrual(ByVal pvStrDataAtual As String, ByVal pvLngLinha As Long)
```

```
    shtCOE.Range("B" & pvLngLinha).Value = mdlRendaFixa.calcularRendaFixaPreAoAnoAc-
    crual(pvStrDataAtual,
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_EMISSAO).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_PU_EMISSAO).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_1_TAXA).Value)
```

```
    shtCOE.Range("C" & pvLngLinha).Value = mdlOpciaoVanilla.calcularOpciaoVanillaCallAc-
    crual(pvStrDataAtual,
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_FIXING).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_2_VALORINICIAL).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_2_STRIKE).Value, _
    0, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_2_TAXAADERENCIA).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_PU_EMISSAO).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_2_POSICAO).Value)
```

```
    shtCOE.Range("D" & pvLngLinha).Value = mdlOpciaoVanilla.calcularOpciaoVanillaCallAc-
    crual(pvStrDataAtual,
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_FIXING).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_3_VALORINICIAL).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_3_STRIKE).Value, _
    0, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_3_TAXAADERENCIA).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_PU_EMISSAO).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_3_POSICAO).Value)
```

End Sub

```
Private Sub calcularMTM(ByVal pvStrDataAtual As String, ByVal pvLngLinha As Long)
```

```
Dim lObjConfiguracaoStress As Object
Dim lStrChave As Variant
```

```
Set lObjConfiguracaoStress = mdlConfiguracao.obterConfiguracaoCenarioStress()
```

```
    shtCOE.Range("F" & pvLngLinha).Value = mdlRendaFixa.calcularRendaFixaPreAo-
    AnoMTM(pvStrDataAtual,
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_EMISSAO).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_VENCIMENTO).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_PU_EMISSAO).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_1_TAXA).Value)
```

```
For Each lStrChave In lObjConfiguracaoStress.Item("ponta2").Keys
```

```
    shtCOE.Range(lStrChave & pvLngLinha).Value = mdlOpciaoVanilla.calcularOpciaoVanilla-
    CallMTM(pvStrDataAtual, _
```

```
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_EMISSAO).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_FIXING).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_2_VALORINICIAL).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_2_STRIKE).Value, _
```

```
    lObjConfiguracaoStress.Item("ponta2").Item(lStrChave), _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_2_TAXAADERENCIA).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_PU_EMISSAO).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_2_POSICAO).Value)
```

```
Next
```

```
For Each lStrChave In lObjConfiguracaoStress.Item("ponta3").Keys
```

```
    shtCOE.Range(lStrChave & pvLngLinha).Value = mdlOpciaoVanilla.calcularOpciaoVanil-
    laCallMTM(pvStrDataAtual,
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_EMISSAO).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_FIXING).Value, _
    shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_3_VALORINICIAL).Value, _
```

```

shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_3_STRIKE).Value,
1ObjConfiguracaoStress.Item("ponta3").Item(1StrChave), _
shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_3_TAXAADERENCIA).Value, _
shtCOE.Range(COE_RANGE_ESTRUTURA_PU_EMISSAO).Value, _
shtCOE.Range(COE_RANGE_PONTA_3_POSICAO).Value)
    Next

End Sub

Private Sub atualizarStatus(ByVal pvStrDataAtual As String,
                           ByVal pvLngProgressoAtual As Long,
                           ByVal pvLngProgressoTotal As Long)

    Application.StatusBar = "Calculando Instrumentos para a data: " & pvStrDataAtual & " (" &
    pvLngProgressoAtual & " de " & pvLngProgressoTotal & ")... " & CInt((pvLngProgressoAtual /
    pvLngProgressoTotal) * 100) & "%"

End Sub

Private Function confirmar() As Boolean

    Dim lBlnRetorno As Boolean

    lBlnRetorno = MsgBox("Deseja realmente realizar o cálculos dos instrumentos do COE?", vbQuestion + vbYesNo) = vbYes

    confirmar = lBlnRetorno

End Function

Public Sub calcular()

    Dim lLngLinha          As Long
    Dim lLngLinhaInicial   As Long
    Dim lLngLinhaFinal     As Long
    Dim lLngProgresso      As Long
    Dim lLngProgressoTotal As Long
    Dim lStrDataAtual       As String

    lLngLinha = 0
    lLngLinhaInicial = shtCOE.Range(mdlConfiguracao.COE_RANGE_CALCULO_LINHA_INICIAL).Row
    lLngLinhaFinal = shtCOE.Range(mdlConfiguracao.COE_RANGE_CALCULO_LINHA_INI-
CIAL).End(xlDown).Row

    lLngProgressoTotal = lLngLinhaFinal - lLngLinhaInicial
    lLngProgresso = 0

    If confirmar() = True Then

        shtCOE.Range("A" & lLngLinhaInicial).Select
        Application.ScreenUpdating = False

        'mdlData.limparCache

        For lLngLinha = lLngLinhaInicial To lLngLinhaFinal

            lStrDataAtual = shtCOE.Range("A" & lLngLinha).Value
            lLngProgresso = lLngProgresso + 1

            Call atualizarStatus(lStrDataAtual, lLngProgresso, lLngProgressoTotal)

            Call calcularAccrual(lStrDataAtual, lLngLinha)

            Call calcularMTM(lStrDataAtual, lLngLinha)

        Next

        Application.StatusBar = ""
        Application.ScreenUpdating = True

        MsgBox "Cálculo Concluído", vbInformation

    End If

End Sub

```

## APÊNDICE F: Código VBA – Configuração

A formatação e a fonte dessa seção foram alteradas para possibilitar uma melhor visualização

Nome do módulo: mdlConfiguracao

```
Option Explicit
```

```

Public Const COMPRADO As String = "COMPRADO"
Public Const VENDIDO As String = "VENDIDO"
Public Const MENOS_UM As Double = -1

Public Const COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_EMISSAO As String = "B3"
Public Const COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_VENCIMENTO As String = "B4"
Public Const COE_RANGE_ESTRUTURA_DATA_FIXING As String = "B5"
Public Const COE_RANGE_ESTRUTURA_PU_EMISSAO As String = "B8"
Public Const COE_RANGE_CALCULO_LINHA_INICIAL As String = "A43"

Public Const COE_RANGE_PONTA_1_TAXA As String = "B21"

Public Const COE_RANGE_PONTA_2_POSICAO As String = "B25"
Public Const COE_RANGE_PONTA_2_VALORINICIAL As String = "B26"
Public Const COE_RANGE_PONTA_2_STRIKE As String = "B28"
Public Const COE_RANGE_PONTA_2_TAXAADERENCIA As String = "B29"

Public Const COE_RANGE_PONTA_3_POSICAO As String = "B33"
Public Const COE_RANGE_PONTA_3_VALORINICIAL As String = "B34"
Public Const COE_RANGE_PONTA_3_STRIKE As String = "B36"
Public Const COE_RANGE_PONTA_3_TAXAADERENCIA As String = "B37"

Private mObjCenarioStressInstrumento As Object

Private Sub carregarConfiguracaoCenarioStress()

If mObjCenarioStressInstrumento Is Nothing Then

    Set mObjCenarioStressInstrumento = CreateObject("Scripting.Dictionary")

    mObjCenarioStressInstrumento.Add "ponta2", CreateObject("Scripting.Dictionary")
    mObjCenarioStressInstrumento.Add "ponta3", CreateObject("Scripting.Dictionary")

    mObjCenarioStressInstrumento.Item("ponta2").Add "G", 0
    mObjCenarioStressInstrumento.Item("ponta2").Add "J", -0.2
    mObjCenarioStressInstrumento.Item("ponta2").Add "K", -0.05
    mObjCenarioStressInstrumento.Item("ponta2").Add "L", 0.05
    mObjCenarioStressInstrumento.Item("ponta2").Add "M", 0.2

    mObjCenarioStressInstrumento.Item("ponta3").Add "H", 0
    mObjCenarioStressInstrumento.Item("ponta3").Add "N", -0.2
    mObjCenarioStressInstrumento.Item("ponta3").Add "O", -0.05
    mObjCenarioStressInstrumento.Item("ponta3").Add "P", 0.05
    mObjCenarioStressInstrumento.Item("ponta3").Add "Q", 0.2

End If

End Sub

Public Function obterConfiguracaoCenarioStress() As Object

    Call carregarConfiguracaoCenarioStress

    Set obterConfiguracaoCenarioStress = mObjCenarioStressInstrumento

End Function

```

## APÊNDICE G: Código VBA – Curva Pré-fixada

A formatação e a fonte dessa seção foram alteradas para possibilitar uma melhor visualização

Nome do módulo: mdlConfiguracao

```

Option Explicit

Private mObjCache As Object

Public Sub limparCache()
    Set mObjCache = CreateObject("Scripting.Dictionary")
End Sub

Public Function obterDU(ByVal pvStrDataInicial As String, _
                        ByVal pvStrDataFinal As String) As Double

    Dim lDblRetorno As Double
    Dim lStrChave As String

    lStrChave = pvStrDataInicial & "-" & pvStrDataFinal

    If mObjCache Is Nothing Then
        Set mObjCache = CreateObject("Scripting.Dictionary")
    End If

    If Not mObjCache.exists(lStrChave) Then

        lDblRetorno = WorksheetFunction.NetworkDays(CDate(pvStrDataInicial), _
                                                    CDate(pvStrDataFinal),_
                                                    shtFeriado.Range("A:A"))

        lDblRetorno = lDblRetorno - 1

        mObjCache.Add lStrChave, lDblRetorno

    End If

    obterDU = mObjCache.Item(lStrChave)

End Function

Option Explicit

Public Function obterTaxaPreBase252(ByVal pvStrData As String) As Double

    Dim lDblRetorno As Double

    lDblRetorno = WorksheetFunction.VLookup(CLng(CDate(pvStrData)), shtCurvaPre.Range("C:H"),_
                                             6, False)

    obterTaxaPreBase252 = lDblRetorno

End Function

```