

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO**  
**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**  
**MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO**

**ESTRUTURA A TERMO DA TAXA DE JUROS E CUPOM CAMBIAL**  
**DECOMPOSIÇÃO EM FATORES PRINCIPAIS**

**Peter Kürthy Wanderley**

**Nº de matrícula: 1511544**

**Orietador: Prof. Márcio Garcia**

**Dezembro, 2018**

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO**  
**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**  
**MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO**

**ESTRUTURA A TERMO DA TAXA DE JUROS E CUPOM CAMBIAL**  
**DECOMPOSIÇÃO EM FATORES PRINCIPAIS**

**Peter Kürthy Wanderley**

**Nº de matrícula: 1511544**

**Orietador: Prof. Márcio Garcia**

**Dezembro, 2018**

---

Declaro que esse trabalho é de minha autoria e que não recorri para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo meu orientador

As opiniões expressas neste trabalho são de responsabilidade única e exclusiva do autor

### **Agradecimentos**

Aos meus pais, Marcelo e Andrea, por todo apoio e investimento em minha educação.

As minhas irmãs, Stephanie, Kristine e Izabel, por não terem me atrapalhado durante as muitas horas de estudo.

Aos meus amigos, que me atrapalharam muito durante as muitas horas de estudo.

Ao meu orientador, Márcio Garcia, pelas inúmeras discussões que variaram da inclinação da curva de juros, ao ataque do Botafogo.

Ao Banco BBM, por ter sido o grande laboratório de tudo que aprendi na faculdade, e por ter sido parte fundamental no desenvolvimento desta monografia.

“Feliz da Criatura que tem por guia e emblema, uma estrela”

- Armando Nogueira

# **Índice**

<b>1. Introdução.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>10</b>
<b>3. Estrutura a Termo da Taxa de Juros .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Introdução .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Construção da ETTJ .....</b>	<b>13</b>
<b>4. Esturutra a Termo de Cupom Cambial.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Introdução .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Construção da ETCC .....</b>	<b>18</b>
4.2.1 Cupom Cambial Curto .....	19
4.2.2 Cupom Cambial Longo .....	19
<b>5. Componentes Principais .....</b>	<b>22</b>
<b>6. Comportamento das Curvas.....</b>	<b>26</b>
<b>6.1 1º Semestre de 2016.....</b>	<b>26</b>
<b>6.2 Maio de 2017 .....</b>	<b>30</b>
<b>7. Conclusão .....</b>	<b>33</b>
<b>8. Bibliografia.....</b>	<b>34</b>

## **Lista de Figuras**

Figura 1: Componentes da Taxa Forward.....	10
Figura 2: Fatores Latentes de Litterman e Scheinkman .....	11
Figura 3: Participação por tipo de investidor (05/2018).....	13
Figura 4: Curva de Juros (02/01/2018).....	16
Figura 5: Participação por tipo de investidor (05/2018).....	17
Figura 6: Curva do Cupom Cambial (02/01/2018).....	21
Figura 7: PCA ETTJ Brasil .....	22
Figura 8: PCA ETTJ Brasil .....	23
Figura 9: PCA ETCC Brasil .....	25
Figura 10: PCA ETCC Brasil .....	25
Figura 11: ETTJ 1º Semestre 2016 .....	27
Figura 12: Eventos 1º Semestre 2016 .....	27
Figura 13: PCA ETTJ - Pré Impeachment .....	28
Figura 14: PCA ETTJ - Pós Impeachment .....	28
Figura 15: PCA ETCC - 1º Semestre 2016 .....	29
Figura 16: ETTJ Maio 2017 .....	31
Figura 17: PCA ETCC - Maio 2017 .....	31
Figura 18: PCA ETTJ - Maio 2017 .....	31

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Vértices Líquidos dos Futuros de Juros .....	15
Tabela 2: Cupom Cambial Curto.....	19
Tabela 3: Vértices Cupom Cambial.....	20

## 1. Introdução

O mercado de derivativos de juros, e mercado de derivativos cambiais cresceu muito nos últimos anos. O principal responsável por esse crescimento foi o longo período de estabilidade econômica vivida pelo país desde o Plano Real (1994).

Os derivativos de juros serão importantes para atender a maior demanda por instrumentos de hedge, assim como sendo uma importante balizadora das emissões de dívida das empresas. A relação entre as variáveis econômicas e o formato da ETTJ - Estrutura a Termo da Taxa de Juros (curva formada pelos derivativos de juros, que será explorada em mais detalhes na capítulo 3 deste estudo), é objeto de intensa pesquisa desde os anos 80.

Além da crescente importância dos derivativos de juros para a economia real, os grandes fundos de investimento brasileiros tiveram importantes ganhos em suas mesas de juros, corroborando ser muito importante o entendimento da ETTJ e os principais determinantes da curva.

Os derivativos cambiais também ganharam relevância nos últimos anos devido a entrada de grandes empresas internacionais assim como a internacionalização de empresas brasileiras resultando em maior demanda por hedge. Essa demanda por hedge trouxe muita liquidez para o mercado de muitos desses derivativos, como por exemplo os futuros de dólar, o cupom cambial limpo, e o cupom cambial sujo. Assim como na ETTJ, o entendimento da relação entre variáveis econômicas e a Estrutura a Termo do Cupom Cambial (ETCC), é fundamental.

Embora o Cupom Cambial esteja ganhando liquidez ele ainda é um mercado bastante ilíquido, por este motivo, a literatura brasileira sobre o assunto é muito incipiente e boa parte do material existente sobre o assunto está na economia americana. Como o mercado brasileiro tem algumas particularidades, existem muitos temas que não são abordados, como por exemplo, a linguagem de NDU/252 (número de dias úteis). No mundo todo, a noção usada é NDC/360 (número de dias corridos).

Litterman e Scheinkman, escrevem em 1991 “*Common Factors Affecting Bond Returns*”, um artigo inovador para o entendimento da ETTJ americana. Neste artigo, eles realizam uma análise dos componentes principais (PCA – *Principal Component Analysis*) e com isso conseguem explicar 97% da variação das taxas de juros americanas com base em 3 fatores (Nível, Inclinação e Curvatura).



O objetivo desse estudo é replicar o estudo de Litterman e Scheinkman para verificar se a análise de componentes principais é também capaz de explicar as variações da estrutura a termo da taxa de juros e do cupom cambial para o mercado brasileiro.

Além disso, dada a limitação da literatura de cupom cambial, propor uma adaptação da literatura americana para as peculiaridades do mercado doméstico.

## 2. Revisão Bibliográfica

Durante muito tempo, a literatura a respeito da Estrutura a Termo da Taxa de juros se concentrou na hipótese das expectativas – Fischer (1896), a hipótese básica deste arcabouço é de que os *yields* seriam resultado da expectativa dos agentes. Por muitos anos, essas hipóteses não foram contestadas, até que alguns estudos empíricos começam a refutar a hipótese da expectativa. Alguns outros modelos são desenvolvidos para aprimorar as explicações resultantes desta hipótese, tais como, modelos afins, modelos de equilíbrio, modelos de arbitragem, etc.

Nelson e Siegel (1987), em “*Parsimonious Modeling of Yield Curves*” argumentam que a teoria das expectativas foi a principal inspiração para que se solucionasse a questão de construção de curvas de juros: “*if spot rates are generated by a differential equation, then foward rates, being forecasts, will be the solution to the equations*”

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 e^{-\gamma t^\tau} + \beta_2 \gamma t e^{-\gamma t^\tau}$$

A equação acima, gera uma série de taxas foward ( $r(m)$ ) que podem ser côncavas, convexas ou com formato de S, dependendo dos valores de  $\beta_0$  (longo prazo),  $\beta_1$  (curto prazo), e  $\beta_2$  (médio prazo).

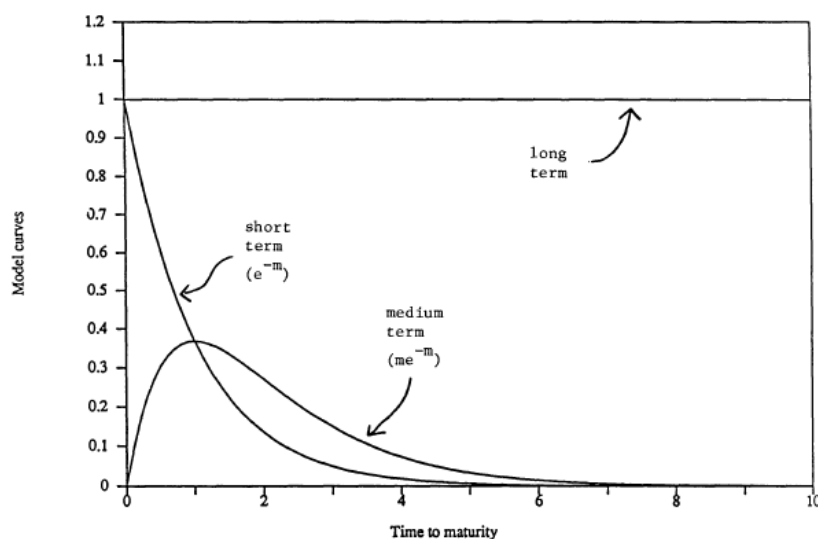


Figura 1: Componentes da Taxa Foward

Fonte: Retirado de Nelson e Siegel (1987)

Diebold e Li (2006), argumentam que a taxa foward de Nelson e Siegel (1987) pode ser reescrita como uma constante mais um polinômio de Laguerre – os polinômios de Laguerre são

uma família de polinômios ortogonais que aparecem na análise de soluções para alguns tipos de equação diferencial:

$$y_t(\tau) = \beta_{1t} + \beta_{2t} \left( \frac{1 - e^{-\gamma_t \tau}}{\gamma_t \tau} \right) + \beta_{3t} \left( \frac{1 - e^{-\gamma_t \tau}}{\gamma_t \tau} - e^{-\gamma_t \tau} \right)$$

Neste modelo, os parâmetros  $\gamma_t^\tau$  controlam a velocidade de decaimento da taxa, de forma que, quanto menor o valor  $\gamma_t^\tau$  mais lento será o decaimento. Os coeficientes  $\beta_{1t}$ ,  $\beta_{2t}$ , e  $\beta_{3t}$  são chamados de fatores latentes dinâmicos.

Litterman e Scheinkman (1991) em “*Common Factors affecting Bond Returns*”, implementam a técnica dos componentes principais, nesta técnica os autores constroem fatores que capturam o componente comum de um número muito grande de séries. A grande vantagem é que se apenas alguns fatores capturam muito da variância de determinadas séries, podemos aproximar os dados por poucos fatores. No artigo, os autores conseguem explicar com apenas 3 componentes (Nível, Inclinação, Curvatura), aproximadamente 97% da variância das taxas de juros do mercado americano para diferentes maturidades.

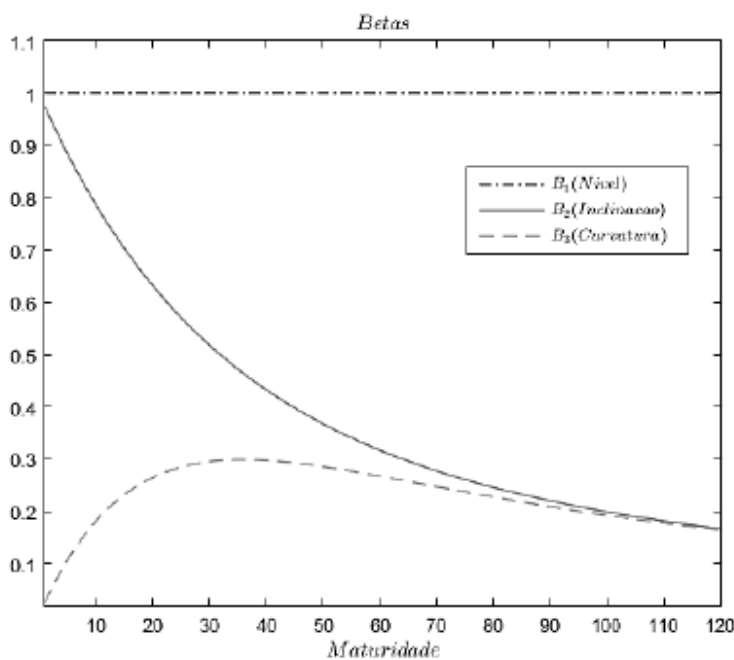


Figura 2: Fatores Latentes de Litterman e Scheinkman

Fonte: Retirado de: BARBOSA, Diego Makasevicius

No capítulo 5 deste estudo, será aplicada a técnica dos componentes principais para o mercado brasileiro de juros e do cupom cambial.

### 3. Estrutura a Termo da Taxa de Juros

#### 3.1 Introdução

A Estrutura a termo da taxa de juros (ETTJ), é a relação (em determinado momento) entre a rentabilidade de um título que não paga cupons (*zero-coupon bond*) com sua duration (no caso de zero-coupon bonds, *duration = maturity*). Não se deve utilizar ativos que pagam cupons, pois estes só teriam as mesmas rentabilidades se fosse possível reinvestir os cupons as mesmas taxas ao longo do tempo. Essa não é uma hipótese muito crível.

A ETTJ é extremamente importante pois serve como balisadora para a emissão de instrumentos de dívida para empresas, e base para a precificação de qualquer instrumento de renda fixa.

As informações citadas acima, são suficientes para entender a importância do entendimento da ETTJ, no entanto, o desenvolvimento de derivativos de juros tornaram o estudo da ETTJ ainda mais importante. Futuros de DI de 1 dia, Opções de DI de 1 dia, trouxeram uma vasta gama de operações para as tesourarias de renda fixa dos bancos e de fundos de investimento. Em países como o Brasil (extremamente dependente de commodities e com uma situação política conturbada) os movimentos da curva de juros, se tornaram muito interessantes e extremamente lucrativos para essas instituições.

Até agora, apenas benefícios para o mercado financeiro foram citados, algo que é muito importante é que o entendimento da ETTJ pode beneficiar, e muito, a economia real. Empresas podem usar o conhecimento sobre a ETTJ para escolher a melhor hora de emitir uma dívida, podem usar esse *know-how* para decidir o indexador de uma dívida, e até, por que não, otimizar o seu caixa da melhor maneira

A construção da ETTJ usará como base o Futuro de Taxa Média de Depósitos Interfinanceiros de Um Dia, dado a extrema importância da ETTJ para a economia real e para o mercado financeiro, este é um derivativo que é negociado com bastante liquidez na B3 (“Brasil, Bolsa, Balcão”).

Segundo a B3:

“O Contrato Futuro de DI1 tem como ativo subjacente a taxa média diária dos Depósitos Interfinanceiros (DI), calculada e divulgada pela B3, compreendida entre a data de negociação, inclusive, e a data de vencimento, exclusive, e é utilizado para proteção e gerenciamento de risco de taxa de juro de ativos/passivos referenciados em DI.”

[http://www.bmfbovespa.com.br/pt\\_br/produtos/listados-a-vista-e-derivativos/juros-e-inflacao/futuro-de-taxa-media-de-depositos-interfinanceiros-de-um-dia.htm](http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/listados-a-vista-e-derivativos/juros-e-inflacao/futuro-de-taxa-media-de-depositos-interfinanceiros-de-um-dia.htm)



Figura 3: Participação por tipo de investidor (05/2018)

### 3.2 Construção da ETTJ

No Brasil, o Banco Central tem como grande objetivo entregar a inflação no centro da meta, o principal mecanismo para atingir esse feito é através da meta da taxa SELIC. A SELIC é determinada a cada 45 dias pelo Comitê de política monetária do Banco Central (COPOM). A partir da SELIC, chegamos ao conceito de CDI (Certificado de Depósitos Interbancários) que embora varie minimamente ao longo dos dias, tem uma forte correlação com a SELIC. O CDI é divulgado diariamente pela B3 sendo calculado pelas taxas médias de depósitos interbancários.

Conforme dito anteriormente, a ETTJ é a relação entre a rentabilidade de um título que não paga cupons e a duration deste determinado título. Logo, se tivéssemos títulos emitidos hoje, para todos os dias úteis, teríamos essa relação sem grandes dificuldades. Porém, não temos essa infinidade de emissões por dia, e precisamos usar outra medida para construir a ETTJ.

A discussão sobre a construção da ETTJ deve levar em conta um importante ponto: existe uma grande diferença entre o juros Spot e o juros futuro, a taxa selic em nada tem a ver com o nível de juros futuro, atualmente a SELIC está em 6,5%, mas existem juros futuros negociados a mais de 12%. A situação já foi bem diferente, quando Ilan Goldfajn assumiu o Banco Central, a SELIC era de 14,25%, mas existiam juros futuros negociados a menos de 12%. O principal ativo negociado na B3 que represente os juros futuros são os contratos futuros de DI.

Os contratos futuros de DI são precificados com base na expectativa do CDI médio entre o momento de negociação e a data de vencimento do contrato e essa informação será importante para construir a curva de juros. Esses contratos futuros tem o seguinte tipo de *Ticker*: DI1XAA onde:

X – É a letra correspondente ao mês de vencimento;

Janeiro (F), Fevereiro (G), Março (H), Abril (J), Maio (K), Junho (M), Julho (N), Agosto (Q), Setembro (U), Outubro (V), Novembro (X) e Dezembro (Z)

AA – São os dois últimos dígitos do ano de vencimento.

Exemplo: O Contrato futuro que vence em 01/02/2019 será o DI1F19

Os vencimentos ocorrem sempre no 1º dia útil do mês de vencimento

Os futuros de DI mostram a relação entre taxa e duration para 12 dias no ano (o primeiro dia útil de cada mês). A partir dessas 12 datas ao ano, iremos realizar uma interpolação linear de maneira a construir uma relação entre uma taxa de juros esperada, e todos os dias úteis.

Antes de começar a entrar no detalhe algébrico da construção da curva de juros é importante ressaltar que a curva de juros do Brasil é baseada na noção de Dias Úteis/252. Quando derivar a Estrutura do Cupom Cambial, iremos usar a base do mercado americano (e da maioria dos mercados) Dias Corridos/360.

O preço unitário (PU) de um contrato futuro de DI pode ser obtido a partir da seguinte conta:

$$PU = \frac{100.000}{(1 + DI_t)^{\frac{ndu_t}{252}}}$$

Onde:

$DI_t$  = Taxa de Juros para a data t

$ndu_t$  = Número de dias úteis até a data t

Com as taxas dos vencimentos líquidos (12 vencimentos por ano, para os próximos 10 anos), temos cerca de 120 dados diários para construir a curva através da interpolação linear.

Tabela 1: Vértices Líquidos dos Futuros de Juros

**Fechamento: 02/01/2018**

Contrato	Vencimento	NDU	DI
Spot	03/01/2018	1	6,9%
DI1G18	01/02/2018	22	6,9%
DI1H18	01/03/2018	40	6,8%
DI1J18	02/04/2018	61	6,7%
DI1K18	02/05/2018	82	6,7%
DI1M18	01/06/2018	103	6,7%
DI1N18	02/07/2018	124	6,6%
DI1Q18	01/08/2018	146	6,6%
DI1U18	03/09/2018	169	6,7%
DI1V18	01/10/2018	188	6,7%
DI1X18	01/11/2018	210	6,7%
DI1Z18	03/12/2018	230	6,7%
DI1F19	02/01/2019	250	6,8%
DI1J19	01/04/2019	311	7,0%
DI1N19	01/07/2019	373	7,3%
DI1V19	01/10/2019	439	7,6%
DI1F20	02/01/2020	503	7,9%
DI1J20	01/04/2020	565	8,2%
DI1N20	01/07/2020	626	8,5%
DI1V20	01/10/2020	691	8,7%
DI1F21	04/01/2021	754	8,9%
DI1J21	01/04/2021	815	9,1%
DI1N21	01/07/2021	877	9,2%
DI1V21	01/10/2021	942	9,4%
DI1F22	03/01/2022	1005	9,5%
DI1J22	01/04/2022	1067	9,6%
DI1N22	01/07/2022	1129	9,6%
DI1V22	03/10/2022	1194	9,7%
DI1F23	02/01/2023	1256	9,8%
DI1N23	03/07/2023	1380	9,9%
DI1F24	02/01/2024	1505	10,1%
DI1N24	01/07/2024	1629	10,1%
DI1F25	02/01/2025	1759	10,3%
DI1F26	02/01/2026	2012	10,4%
DI1F27	04/01/2027	2262	10,5%
DI1F28	03/01/2028	2513	10,6%
DI1F29	02/01/2029	2762	10,7%
DI1F30	02/01/2030	3012	10,7%

Fonte: Dados B3 – Criação Própria

A tabela 1, mostra os ajustes dos futuros da taxa de juros para alguns vértices líquidos, como exemplo, temos que o DI para 2012 dias uteis é 10,4%, temos também que o DI para 1194 dias úteis é 9,7%. Qual seria o DI para 1500 DU? Como não há negociação de um contrato com vencimento em 1500 DU, temos que realizar uma interpolação linear para conseguir ter uma cotação para essa *duration*, e para todas as *durations* ilíquidas. Respondendo a pergunta anterior, de acordo com a interpolação o DI para 1500 dias é 10,07% a.a.

O resultado da interpolação linear a partir dos vértices líquidos do mercado futuro de DI é a curva abaixo, onde consegue-se observar taxas de juros para todas as *durations* existentes.

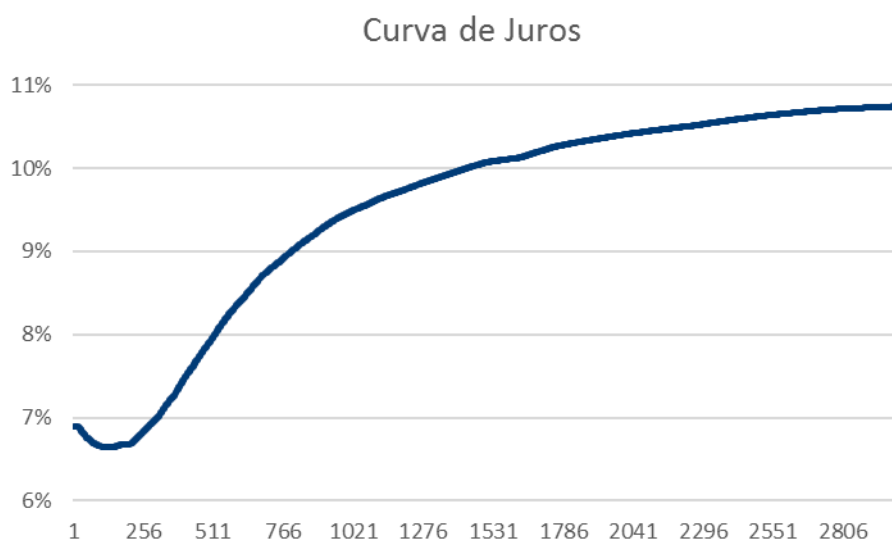


Figura 4: Curva de Juros (02/01/2018)

Fonte: Dados B3 – Criação Própria



## 4. Estrutura a Termo de Cupom Cambial

### 4.1 Introdução

Uma importante característica do mercado de câmbio no Brasil está na não conversibilidade da moeda, ou seja, o mercado de câmbio brasileiro não é aberto. Isso significa que todas as operações envolvendo o Real e outras moedas estrangeiras devem estar registradas no Banco Central, e que nenhuma operação financeira, no Brasil, pode ser liquidada em outra moeda que não seja o Real, bem como não é permitido manter contas em Real no exterior.

Em mercados onde há conversibilidade da moeda, a comparação entre duas moedas, se dá pelo valor esperado para as moedas e as taxas de juros entre os dois países. No Brasil, e em muitos outros países, devemos adicionar um outro componente para criar essa relação, e esse componente é o cupom cambial.

O futuro de cupom cambial é um derivativo que também vem adquirindo cada vez mais relevância, e com isso, ganhando liquidez no mercado brasileiro. Este derivativo facilita a proteção a flutuação da taxa de juros em dólar, ou seja, empresas brasileiras que atuam no mercado internacional e empresas internacionais que atuam no Brasil, que têm interesse em se proteger de depreciação cambial e alterações na taxa de juros global usam este derivativo para se proteger.

Segundo a B3:

“O contrato funciona como uma ferramenta de proteção contra flutuações da taxa de juro referenciada ao dólar. Para entendermos o Contrato Futuro de Cupom Cambial devemos ter em mente aspectos macroeconômicos, em especial, a paridade de juros. Assim, o cupom cambial pode ser interpretado como o rendimento em dólares para estrangeiros que assumem o risco de investir no Brasil.”



Figura 5: Participação por tipo de investidor (05/2018)

O entendimento do cupom cambial fica evidente quando analisamos a paridade coberta da taxa de Juros:

$$(1 + i_t)^{\frac{ndu_t}{252}} = \left(1 + CC_t \frac{ndc_t}{360}\right) \times \frac{FDOL_t}{SPOT}$$

Onde:

$i_t$  = Taxa de Juros interna para a data t

$ndu_t$  = Numero de dias úteis para a data t

$CC_t$  = Cupom Cambial para a data t

$ndc_t$  = Numero de dias corridos para a data t

$FDOL_t$  = Futuro de Dólar para a data t

$SPOT$  = Dólar Spot

## 4.2 Construção da ETCC

A discussão sobre a construção da ETCC deve ser pautada em duas grandes distinção:

A primeira distinção é entre o FRA (cupom cambial limpo) e o DDI (cupom cambial sujo).

DDI: Chamamos o DDI de cupom cambial sujo, pois ele é calculado com base na taxa PTAX de D-1, ou seja, ele é contaminado pela variação cambial.

FRA: Chamamos o FRA de cupom cambial limpo, pois ele é calculado com base no Dólar Spot da data de vencimento, e dessa maneira não é contaminado pela variação cambial

$$CC_{limpo} = \frac{Spot - PTAX_{D-1}}{PTAX_{D-1}} + \frac{Spot}{PTAX_{D-1}} \times CC_{sujo}$$

O cálculo acima, deixa claro que a única diferença entre os dois Cupons Cambiais é a variação cambial de um dia.

A segunda distinção é entre o cupom cambial curto, e o cupom cambial longo.

O cupom cambial curto, é retirado a partir da relação entre o Dólar futuro e o Dólar Spot, tendo o CASADO uma importante função neste cálculo.

O cupom cambial longo, é retirado a partir dos contratos futuros de cupom cambial

A construção da curva se dará a partir da composição do cupom cambial curto com o cupom cambial longo.

#### 4.2.1 Cupom Cambial Curto

$$SPOT = FDOL_t - CASADO$$

$$FDOL_t = SPOT \times \frac{(1 + DI_t)^{\frac{ndu_t}{252}}}{(1 + CC_t \times \frac{ndc_t}{360})}$$

Tabela 2: Cupom Cambial Curto

Cupom Curto	
Início	02/01/2018
Vencimento	01/02/2018
Futuro	3.270,380079
Casado	11,280079
DI	6,90%
NDU	22,00
NDC	30
<b>Spot</b>	<b>3259,100000</b>
<b>CC</b>	<b>2,8%</b>

Fonte: Dados B3 – Criação Própria

#### 4.2.2 Cupom Cambial Longo

Conforme dito anteriormente, existem dois tipos de contratos que tem como ativo objeto o Cupom Cambial, estes são o FRA (Cupom Cambial Limpo) e o DDI (Cupom Cambial Sujo), usaremos neste estudo os dados do FRA.

O FRA representa a taxa termo entre o primeiro vencimento do contrato de Dólar, e o vencimento do contrato. Ou seja, a partir do Cupom Cambial Curto e do FRA, conseguimos construir as taxas para os vértices em que há negociação do FRA.

$$CC_t = \left\{ \left[ \left( 1 + CC_{curto} \times \frac{ndc_{curto}}{360} \right) \times \left( 1 + FRA_t \times \frac{ndc_t - ndc_{curto}}{360} \right) \right] - 1 \right\} \times \frac{ndc_t}{360}$$

$CC_t$  = Cupom Cambial para o dia t

$CC_{Curto}$  = Cupom Cambial Curto

$ndc_{Curto}$  = Número de Dias Corridos até o próximo vencimento do contrato futuro de Dólar

$FRA_t$  = Taxa do FRA com vencimento na data t

$ndc_t$  = Número de dias corridos até a data t

Tabela 3: Vértices Cupom Cambial

Contrato	Vencimento	NDC	FRC	CC
CC_CURTO	01/02/2018	30	0,00%	2,84%
FRAH18	01/03/2018	58	2,61%	2,73%
FRAJ18	02/04/2018	90	2,50%	3,51%
FRAK18	02/05/2018	120	2,49%	4,01%
FRAM18	01/06/2018	150	2,49%	4,29%
FRAN18	02/07/2018	181	2,49%	4,46%
FRAQ18	01/08/2018	211	2,50%	4,62%
FRAU18	03/09/2018	244	2,49%	4,68%
FRAV18	01/10/2018	272	2,55%	4,86%
FRAZ18	01/11/2018	303	2,61%	4,95%
FRAZ18	03/12/2018	335	2,60%	4,99%
FRAF19	02/01/2019	365	2,69%	5,14%
FRAJ19	01/04/2019	454	2,73%	4,91%
FRAN19	01/07/2019	545	2,80%	5,11%
FRAV19	01/10/2019	637	2,85%	5,26%
FRAF20	02/01/2020	730	2,94%	5,44%
FRAJ20	01/04/2020	820	2,97%	5,55%
FRAN20	01/07/2020	911	3,01%	5,66%
FRAV20	01/10/2020	1.003	3,09%	5,79%
FRAF21	04/01/2021	1.098	3,15%	5,90%
FRAJ21	01/04/2021	1.185	3,17%	5,99%
FRAN21	01/07/2021	1.276	3,21%	6,07%
FRAV21	01/10/2021	1.368	3,26%	6,16%
FRAF22	03/01/2022	1.462	3,37%	6,32%
FRAJ22	01/04/2022	1.550	3,41%	6,41%
FRAN22	01/07/2022	1.641	3,46%	6,50%
FRAV22	03/10/2022	1.735	3,46%	6,53%
FRAF23	02/01/2023	1.826	3,55%	6,67%
FRAN23	03/07/2023	2.008	3,62%	6,66%
FRAF24	02/01/2024	2.191	3,74%	6,88%
FRAN24	01/07/2024	2.372	3,80%	7,02%
FRAF25	02/01/2025	2.557	3,90%	7,21%
FRAF26	02/01/2026	2.922	4,13%	7,40%
FRAF27	04/01/2027	3.289	4,26%	7,72%
FRAF28	03/01/2028	3.653	4,45%	8,11%
FRAF29	02/01/2029	4.018	4,70%	8,60%

Fonte: Dados B3 – Criação Própria

A partir dos vértices líquidos, se utilizando de técnicas de interpolação linear, consegue-se construir a curva do cupom cambial e consequentemente extrair a taxa para todos os dias.

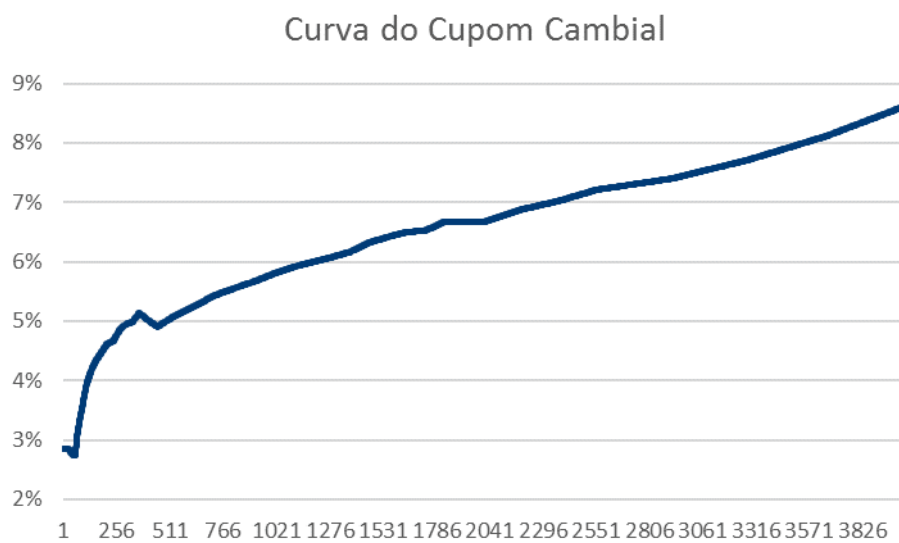


Figura 6: Curva do Cupom Cambial (02/01/2018)

Fonte: Dados B3 – Criação Própria

## 5. Componentes Principais

A análise dos componentes principais – PCA: “Principle Component Analysis” é uma maneira de identificar a relação entre características extraídas de dados e se consiste na escolha dos componentes mais representativos a partir de combinações lineares das variáveis originais.

Os passos para o cálculo dos componentes principais são:

- M vetores de dimensão N: Nesse trabalho os vetores são a ETTJ/ETCC para datas entre 2002 e 2018; e limitamos a dimensão pela dimensão do menor vetor (1500 du)
- Calcular o vetor médio destes dados
- Subtrair a média de todos os dados
- Calcular a matriz de covariância usando todas as subtrações
- Calcular os auto valores e auto vetores da matriz de covariância
- Montar a Matriz de Hotelling

O resultado para o modelo de análise dos componentes principais para a Estrutura a Termo da Taxa de Juros está na tabela abaixo.

Importance of components:										
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Standard deviation	3.247	2.0391	0.46749	0.22022	0.12048	0.08427	0.06689	0.03518	0.03304	0.02377
Proportion of Variance	0.703	0.2772	0.01457	0.00323	0.00097	0.00047	0.00030	0.00008	0.00007	0.00004
Cumulative Proportion	0.703	0.9802	0.99476	0.99799	0.99896	0.99943	0.99973	0.99981	0.99988	0.99992
	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15					
Standard deviation	0.01910	0.01720	0.01519	0.01496	0.006922					
Proportion of Variance	0.00002	0.00002	0.00002	0.00001	0.000000					
Cumulative Proportion	0.99995	0.99997	0.99998	1.00000	1.000000					

Figura 7: PCA ETTJ Brasil

A decomposição dos componentes principais teve resultado similar nas curvas brasileiras e curvas americanas no que se refere ao percentual explicado com apenas 3 fatores: (nível (B1), inclinação (B2) e curvatura (B3)). Para os títulos americanos o modelo explica 97% da variação, enquanto para os títulos brasileiros consegue explicar 99% da variação da ETTJ.

O modelo porém, mostra que o comportamento dos fatores são bem diferentes nos dois mercados (americano e brasileiro) conforme disposto no gráfico abaixo, e o restante desse capítulo irá explicar essas diferenças

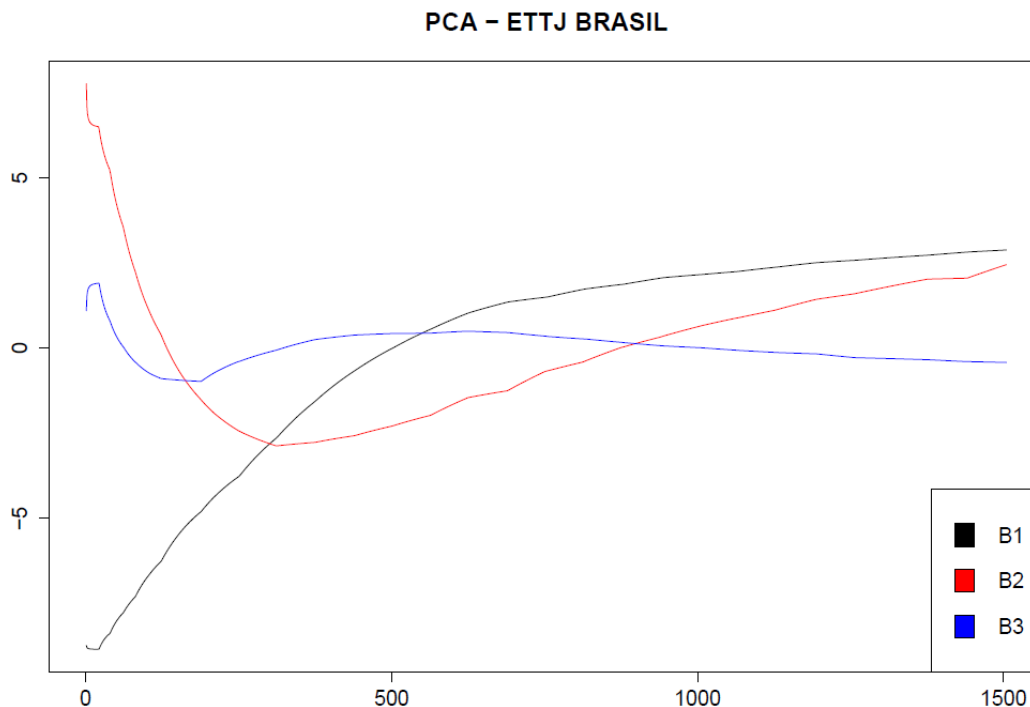


Figura 8: PCA ETTJ Brasil

### B1: Nível

O nível na curva americana é praticamente *flat*, ou seja, independente da *duration* de um título, o nível de retorno será próximo. Já para a curva brasileira, o componente de nível é extremamente inclinado, mostrando que os títulos com *durations* maiores tem remuneração muito mais alta.

A principal explicação para isso é a maior incerteza quanto ao risco Brasil se comparado ao risco Estados Unidos. A parte curta da curva sempre estará ancorada no nível corrente de juros, devido a credibilidade que ambos os BCs possuem, porém, investidores brasileiros convivem com maior incerteza da economia e de outros indicadores. Qual será o preço das commodities? Quem será o próximo presidente? Ele adotará uma política fiscal responsável? Qual será a situação de liquidez mundial? Essas são algumas das perguntas que um investidor tem que fazer quando decide alongar sua posição no Brasil, e diante da incerteza das respostas, ele passa a demandar maior prêmio para carregar a dívida por períodos mais longos.

Existem muitas perguntas a respeito da economia americana, porém o impacto de cada resposta é menor por ser uma economia bem mais estruturada e com muitas frentes de desenvolvimento, o impacto de uma resposta “ruim” é mitigado frente a tantas outras frentes de desenvolvimento. Dessa maneira, o investidor americano não exigirá um prêmio maior para alongar sua dívida, ele exigirá apenas um prêmio por abrir mão da liquidez.

### B2: Inclinação

Para o componente referente a inclinação, o modelo mostra uma situação curiosa: para durations curtas (até 500 d.u) a inclinação é negativa, mas logo inverte e fica positiva crescendo muito (em linha com a questão da incerteza comentada na análise do componente de nível)

A explicação para o trecho negativamente inclinado está no horizonte de política monetária do Banco Central. Embora exista muita incerteza sobre a trajetória dos juros no longo prazo (devido aos riscos citados) o investidor confia no comprometimento do comitê de política monetária de entregar a inflação no centro da meta. Ou seja, para períodos curtos, o mercado confia na trajetória do juro, e consegue projetar o juro esperado para durations curtas, mas mantém o pessimismo no que se refere as durations mais longas e a incerteza existente – justificando uma alta do componente de inclinação.

No mercado americano, a inclinação é sempre decrescente pelo mesmo motivo da mudança de inclinação das curvas brasileiras: horizonte de política monetária. Nos prazos mais curtos, o mercado tem confiança na política monetária que o FED irá adotar, mas nos prazos mais longos não tem opinião sobre a trajetória dos juros e confia que ele ficará no nível atual (que é praticamente o mesmo da ponta curta conforme mostrado na análise de B1).

### B3: Curvatura

O comportamento da curvatura talvez seja o componente mais parecido em ambas as curvas, e o impacto dela é próximo de zero para praticamente todas as durations.

O resultado para a Estrutura a Termo do cupom cambial é ainda mais expressivo, os 3 componentes principais conseguem explicar 99,89% da variação da ETCC, e chama a atenção a representatividade do componente de nível que chega a 96,49%./



Importance of components:								
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Standard deviation	2.7784	0.49082	0.17549	0.08163	0.03813	0.02043	0.01765	0.01284
Proportion of Variance	0.9649	0.03011	0.00385	0.00083	0.00018	0.00005	0.00004	0.00002
Cumulative Proportion	0.9649	0.99502	0.99887	0.99971	0.99989	0.99994	0.99998	1.00000

Figura 9: PCA ETCC Brasil

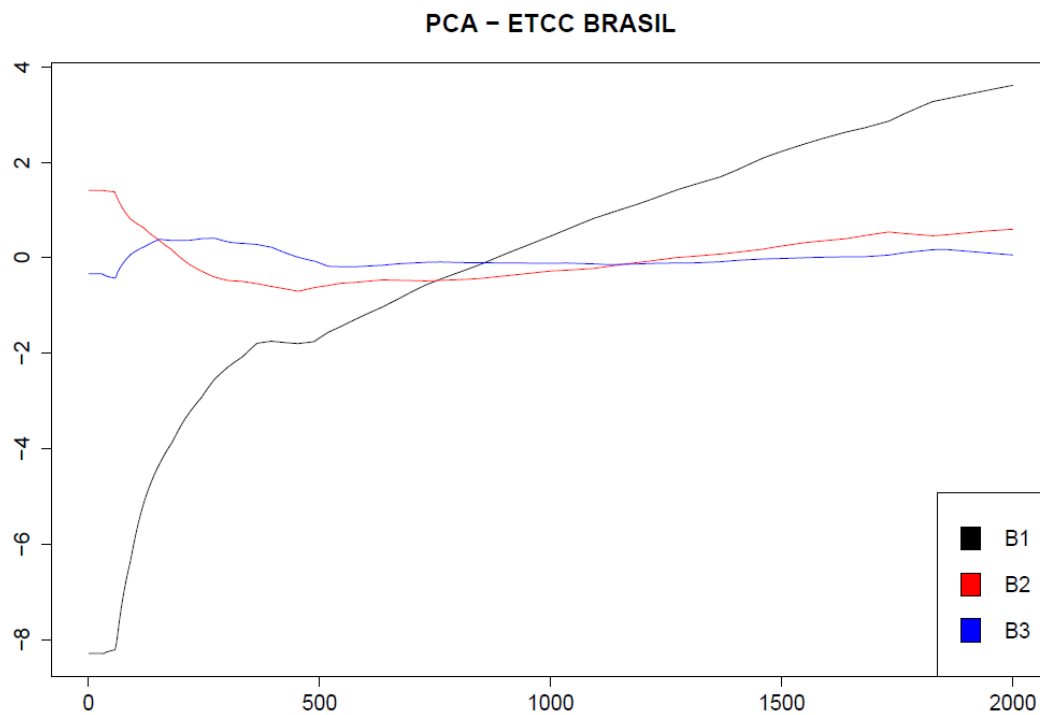


Figura 10: PCA ETCC Brasil

Um disclaimer deve ser feito: o mercado de cupom cambial na B3 é extremamente ilíquido (negociando apenas no leilão de ajuste), e eventualmente não tendo nem negociação. Logo, nosso modelo pode apresentar algum ruído devido a alguma imprecisão dos dados devido a restrições de liquidez.

Apenas exemplificando a questão de liquidez, em setembro de 2018, por exemplo, o DI1-F21 (futuro de DI com vencimento em janeiro de 2021) negociou em todos os dias totalizando 174.000 negócios, enquanto o FRA-F21 (futuro de cupom cambial com vencimento em janeiro de 2021) foi negociado apenas no dia 27/09/2018 totalizando 1 negócio.

## 6. Comportamento das Curvas

O capítulo 5 derivou o modelo de componentes principais e explorou os principais resultados, bem como o comparou com os resultados encontrados por Litterman e Scheinkman em “Common factors Affecting Bond Returns”. A principal fonte de diferença entre a curva brasileira e a curva americana poderia ser explicada pelo componente de nível, e o que diferencia o comportamento desse componente é a incerteza existente sobre o futuro de uma economia menos sólida

No capítulo anterior, muitos exemplos de perguntas que afetam a ETTJ, e a ETCC foram feitas. O objetivo desse capítulo é explorar a análise dos componentes principais em alguns momentos em que essas perguntas foram estressadas. A primeira análise será sobre o 1º semestre de 2016, quando o ambiente brasileiro foi contaminado por uma mudança no comando político e econômico do país. A segunda análise será sobre o comportamento das curvas a partir de um choque interno vindo do noticiário político

### 6.1 1º Semestre de 2016

O 1º Semestre de 2016 foi marcado por duas grandes mudanças no Brasil, uma delas foi o Impeachment da presidente Dilma Rousseff após uma denúncia por crime de responsabilidade fiscal, a outra foi a mudança da equipe econômica que passou a ser liderada por Henrique Meirelles (Ministro da Fazenda) e Illan Goldfajn (Presidente do Banco Central).

Essas mudanças, impactaram fortemente as curvas brasileiras (como será mostrado abaixo). Enquanto Dilma esteve a frente da Presidência da República, o Brasil adotava uma política fiscal expansionista que elevava, e muito, o déficit fiscal e o BC comandado por Tombini tentava re-equilibrar a economia com choques na política monetária.

Com a sinalização de que o Impeachment ocorreria e de que Michel Temer teria uma agenda reformista muito preocupada com a dinâmica fiscal Brasileira, os mercados se animam. Rapidamente a parte longa da curva caiu muito, afinal, com um presidente comprometido com o fiscal, a chance de calote cai muito. A mudança na parte curta da curva aconteceu com a nomeação de Ilan Goldfajn, ex presidente do Itaú e comprometido em entregar a inflação no centro da meta e acelerar a atividade com política monetária.

A diferença entre a ETTJ do início do semestre, e a ETTJ do final do semestre mostra o quão profunda foram as mudanças no período, essas mudanças foram tão profundas que qualquer tratamento estatístico seria inconclusivo (como mudou quase tudo do cenário brasileiro, seria praticamente impossível encontrar componentes principais para explicar qualquer mudança).

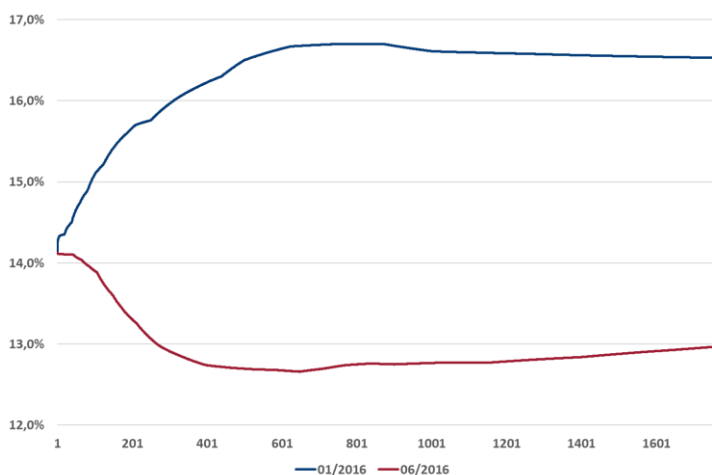


Figura 11: ETTJ 1º Semestre 2016

Dito isso, o período analisado foi dividido em duas partes, antes/depois da instauração da comissão especial de impeachment, permitindo uma comparação entre os componentes principais de cada período. A imagem abaixo mostra o comportamento do DI1F19 ao longo do 1º semestre com a sinalização dos principais eventos políticos do período.

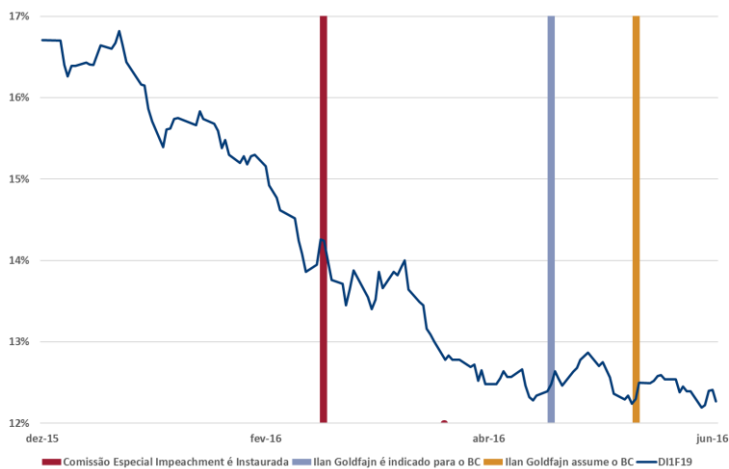


Figura 12: Eventos 1º Semestre 2016

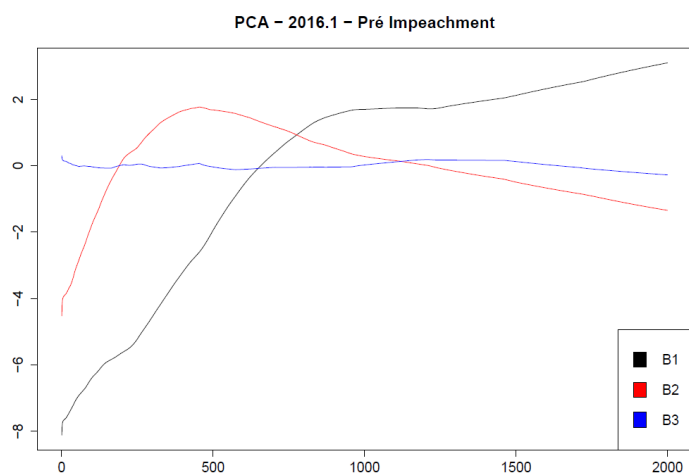


Figura 13: PCA ETTJ - Pré Impeachment

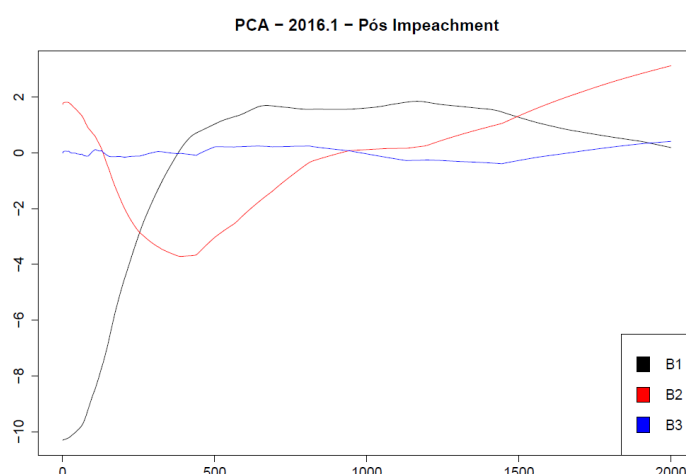


Figura 14: PCA ETTJ - Pós Impeachment

Os dois componentes que merecem mais atenção da análise são B1 (nível) e B2 (inclinação), uma vez que B3 (curvatura) é praticamente zero para todo o período, e não teve papel muito importante durante o período.

Nos dois períodos, chama a atenção o comportamento da inclinação das curvas de juros, essa inclinação é explicada pela componente B2: no período pré impeachment, a curva de juros era muito positivamente inclinada no curto prazo (até 500 dias), e depois ficava praticamente flat. Já no período pós impeachment, a curva de juros era muito negativamente inclinada até 500 dias e depois ficava também flat, a grande explicação para isso está no horizonte de política monetária. As variações da parte curta tem influência direta do comportamento do comitê de política monetária (COPOM), enquanto a parte longa responde às variáveis macro, como o risco de crédito do país e a trajetória de sua dívida.

No primeiro período da análise, o Banco Central era liderado por Alexandre Tombini, e com o cenário de déficit de conta corrente, a aceleração do IPCA, e o déficit fiscal do governo, o mercado achava que o COPOM deveria atuar subindo juros em todas as reuniões para conter inflação e melhorar o carry da moeda, resultando no formato inclinado da curva.

Com o Impeachment da presidente Dilma, e a indicação de Ilan Goldfajn para o BC as coisas começaram a mudar. O grande feito de Ilan, foi a das expectativas, ao ancorar essas expectativas, o presidente conseguia se preocupar com outros problemas que não apenas o controle de inflação.

O principal desafio do novo Banco Central seria a retomada da atividade, visando diminuir o o hiato do produto. Com esse novo objetivo, e com a credibilidade da nova equipe econômica / poder executivo o BC sinaliza que iniciará uma política monetária expansionista, cortando juros. Logo, a parte curta da curva irá mudar radicalmente de posição, refletindo a mudança nas expectativas acerca da política monetária.

A parte longa da curva apresentou uma mudança de nível em aproximadamente 300 bps (*basis points*) refletindo a mudança na política monetária e a melhora da agenda política do novo governo. Apesar disso, o comportamento da curva no longo prazo não mudou muito, a curva continuou flat (em níveis mais baixos) refletindo a necessidade de reformas mais profundas para diminuir o risco de crédito de longo prazo.

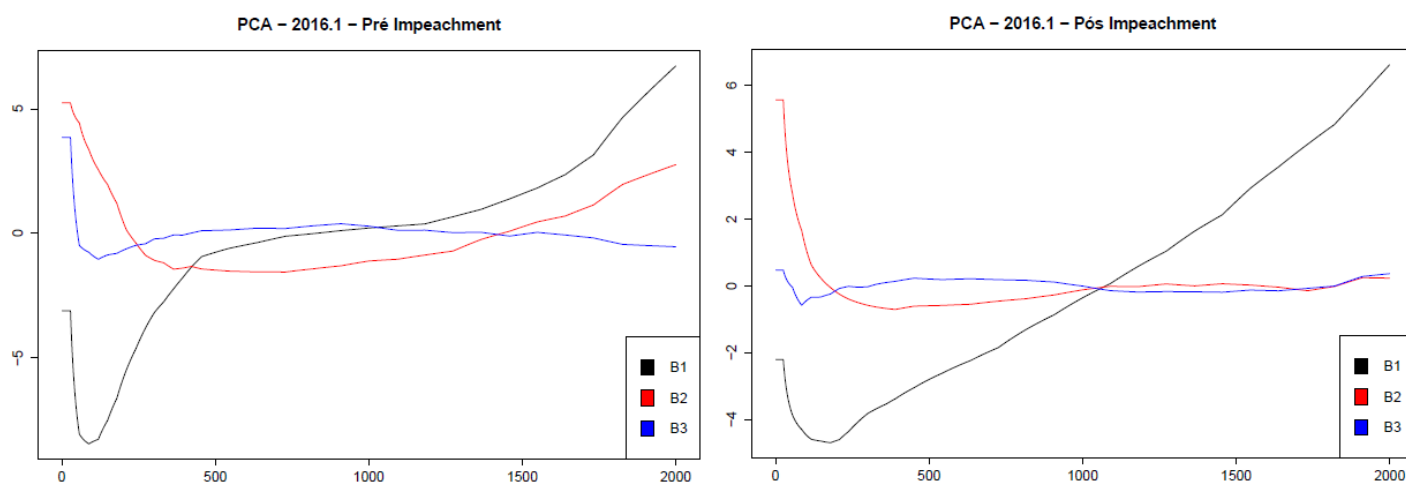


Figura 15: PCA ETCC - 1º Semestre 2016

Antes de analisar o cupom cambial e o comportamento de seus componentes, é importante ressaltar o aumento significativo do componente de nível para o segundo período da análise. Enquanto no primeiro período, apenas 68% da variância era explicada por B1, no segundo ela será explicada em 92%.

Como a curva do cupom é a curva de juros externa do Brasil, deve-se analisar os componentes principais a luz de acontecimentos macro internos (já citados na análise da ETTJ) e acontecimentos macro externos. Como a análise é do cupom cambial dólar, a análise será pautada por acontecimentos da economia americana.

## Economia Americana

No ano de 2016, a economia americana ainda se recuperava da crise de crédito ocorrida em 2008, desde 2009 o FED funds estavam em 0,25% a.a, e o banco central americano estava fazendo a maior expansão de balanço já vista. O mundo nunca tinha vivido um momento com tanto excesso de liquidez por tanto tempo quanto nos anos 2009-dias atuais.

Em 2016 ocorreu a primeira alta de juros pós 2008 com a FED *funds rates* indo para 0,5% a.a, e assim ficou até 2017, quando o FED liderado por sua presidente Janet Yellen (*Yale*) começa a subir juros trimestralmente, conduzindo a economia americana para as taxas de pleno emprego.

Nota: Até Dezembro de 2018 o FED não finalizou o ciclo de aperto monetário, e já sinalizou que iria começar a desacelerar as altas. O *Quantitative tightening* já preocupa muitos países emergentes, embora o efeito final desse aperto monetário não seja conhecido para esses países ou para os EUA.

Apesar do aumento das taxas de juros depois de um grande período de tempo, o 1º semestre de 2016 foi um semestre sem grandes acontecimentos nos EUA, um indicador importante disso foi o comportamento do VIX (*Volatility Index S&P 500*) próximo ao low histórico.

Em ambos os períodos, B3 (curvatura) teve impacto não desprezível no curtíssimo prazo, mas caminhando rapidamente para níveis próximos de zero, a explicação para esse impacto na ponta curta da curva é pautada por questões técnicas.

A construção da curva derivada no capítulo 4 faz uma distinção entre a formação do cupom curto e do cupom longo, no cupom curto, o principal input para sua derivação é a relação entre dólar futuro e o dólar spot (CASADO), ou seja, o preço do casado influencia muito a ponta curva do cupom cambial, exemplificado pelo componente B3.

### **6.2 Maio de 2017**

Em maio de 2016, Michel Temer foi empossado interinamente Presidente da República, e até maio de 2017, o presidente vinha cumprindo todas as suas promessas de governo e adotando uma agenda reformista. Aprovou a reforma trabalhista, aprovou a PEC do teto de gastos e o fluxo de notícias era muito positivo – havia a expectativa de que a reforma da previdência fosse aprovada ainda no primeiro semestre.

Os mercados vinham performando muito bem, o Ibovespa estava em seu melhor nível em 5 anos, o BRL apreciava continuamente e a curva de juros convergia para o menor juros da história. Tudo isso foi interrompido com uma notícia divulgada pelo jornal “O Globo”, ao final do pregão de 17 de Maio de 2017: “Dono da JBS gravou Temer dando aval para comprar silêncio de Cunha” – Michel Temer viu sua rejeição aumentar para níveis históricos e não conseguiu a aprovação de nenhuma reforma relevante até o fim de seu mandato.

O impacto disso em 18 de Maio foi devastador, o BRL depreciou 10%, o Ibovespa caiu 10%, e o mercado de juros, após ser suspenso 3 vezes, sinalizou uma alta de praticamente 200 pontos.

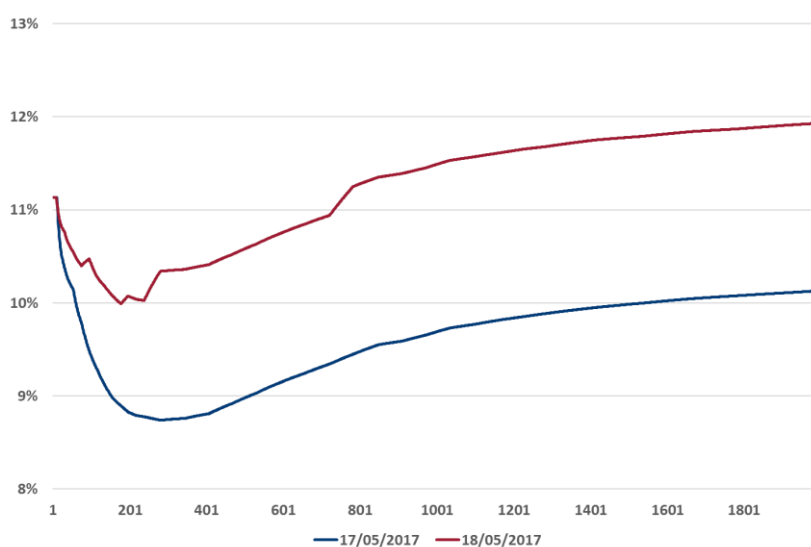


Figura 16: ETTJ Maio 2017

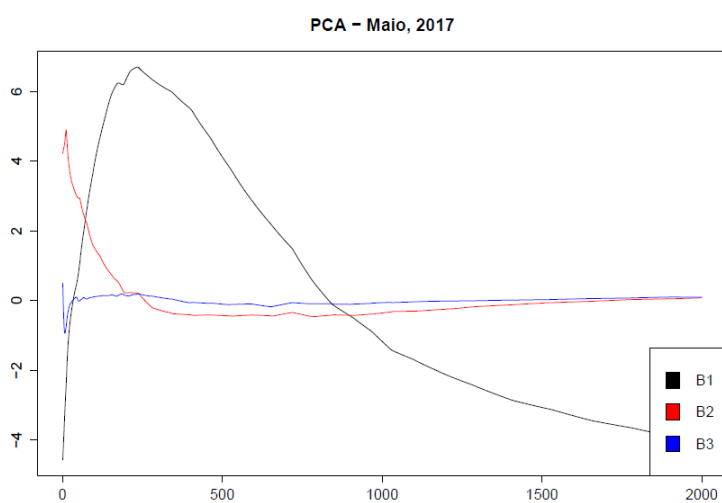


Figura 18: PCA ETTJ - Maio 2017

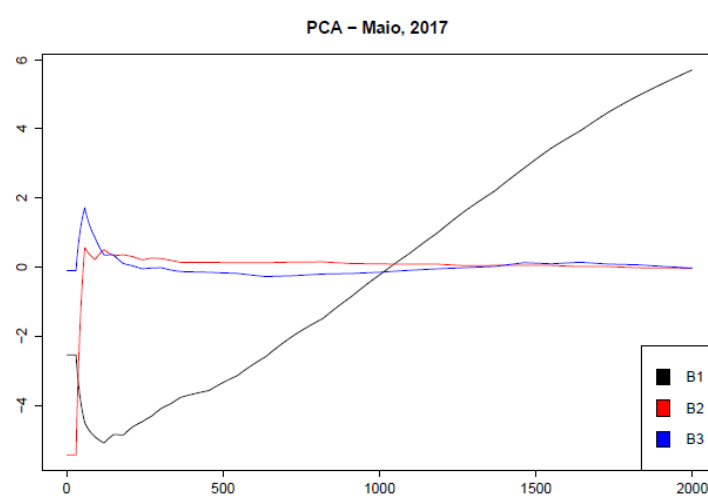


Figura 17: PCA ETCC - Maio 2017

A divulgação da gravação colocou fim aos planos do presidente da república de aprovar qualquer reforma relevante no ano de 2017. Alguns economistas defendiam que algumas reformas micro poderiam ser aprovadas, mas a grande verdade é que nada mais passou pelo Congresso e pelo Senado, até o fim de 2018. Uma consequência política deste fato, foi que o eleitor brasileiro antecipou muito a discussão eleitoral.

A análise dos componentes principais mostram coisas comuns para o comportamento da ETTJ e da ETCC: praticamente toda mudança será explicada pela componente de nível, e as componentes de inclinação e curvatura são praticamente zero para todo o período.

Para a ETTJ, o BC sofreu muita pressão por altas de juros para as reuniões seguintes ao evento de *stress*, o grande comentário da maioria dos economistas é de que a política monetária deveria ser usada melhorar o carry da moeda brasileira (aumentando o diferencial de juros com o restante do mundo), e segurando o investimento estrangeiro no Brasil. Por outro lado, existia um grande problema que impediria o BC de fazer isso. A atividade estava muito fraca, a inflação muito abaixo da meta, e o hiato do produto era muito grande, então embora houvessem motivos políticos para um aumento de juros, os fundamentos econômicos ainda eram muito sólidos para o aumento dos estímulos monetários, e o COPOM poderia seguir cortando juros (como de fato fez).

Na parte média e longa da curva, não houve grandes mudanças, a curva apenas *shiftou* 300 bps pra cima, refletindo uma piora no risco de crédito local devido a instabilidade política.



## 7. Conclusão

A análise dos componentes principais da ETTJ, foi em linha com o já observado por Litterman e Scheikman. Além disso, a análise dos componentes em dois momentos de stress político econômico, foi importante para transformar esses dados quantitativos, em explicações qualitativos como política monetária, piora do risco de Crédito, e outros.

A derivação da curva de cupom cambial, mostra a peculiaridade do mercado local, e como o preço dos derivativos de cambio são afetados pela não convesibilidade da moeda e do preço do CASADO.

A análise dos componentes principais da curva de cupom cambial, foi em linha com a literatura anterior. Mais de 95% das variações da ETCC foram explicadas pelos 3 componentes principais, chamando a atenção para o elevado nível de explicação da variância pela variável de nível (aproximadamente 93%).

## 8. Bibliografia

MISHKIN, F. The Economics of Money, Banking and Financial Markets – 10<sup>th</sup> Ed. 2012, Prentice Hall

HULL, JOHN. Options, Futures and Other Derivatives – 10<sup>th</sup> Ed. 2018, Pearson

LITTERMAN, R. e SCHHEINKMAN, J – Common Factors Affecting Bond Returns, Journal of Fixed Income, 1 (1991)

LITTERMAN, R; SCHEINKMAN, J e WEISS, L – Volatility and the Yield Curve, Journal of Fixed Income, 1 (1991)

NELSON, C; SIEGEL, A – Parsimonious Modeling of Yield Curves, The Journal of Business, Vol 60, 4 (1987)

BARBOSA, Diego Makasevicius – Previsão da Estrutura a Termo de Cupom Cambial, Dissertação de Mestrado FGV – EPGE (2017)

MUSSI, D – Derivativos Cambiais do Mercado Brasileiro: Precificação e Administração de Riscos (2010)

ARANTES, B – Previsão da Estrutura a Termo da Taxa de Juros Brasileira usando Redes Neurais Artificiais (2013)

CORTAZAR, G; SCHWARTZ, E; NARANJO, F – Term Structure Estimation in Markets with infrequent Trading – International Journal of Finance and Economics 12 (2007)

DIEBOLD, F; LI, C – Forecasting the Term Structure of Government Bond Yields – Journal of Econometrics 130 (2006)