

Fatores que Influenciam na Estrutura Temporal de Cupom Cambial: Uma Aplicação da Análise de Componentes Principais

Autor:

RICARDO RATNER ROCHMAN

(FGV-EAESP)

Resumo: Neste artigo é apresentada pela primeira vez uma aplicação da análise de componentes principais para identificação dos fatores que influenciam o comportamento, e para análise da variabilidade da estrutura temporal de cupom cambial, que representa uma das variáveis chave para apuração de derivativos cambiais, e decisão de investimento no Brasil por parte de investidores estrangeiros. Com uma amostra de FRAs BM&F que vai de 02/01/2002 a 29/12/2005, a técnica de componentes principais é aplicada para curvas de cupom cambial brasileiras, foi feita de duas formas para períodos de 1, 2 e 3 anos: em curvas construídas por meio de derivativos negociados na BM&F, e em curvas obtidas através das cotações do dólar norte-americano à vista. Da mesma forma que em trabalhos anteriores para taxas de juros, três fatores foram responsáveis pela explicação de no mínimo 95% da variabilidade da estrutura temporal de cupom cambial, sendo que estes fatores foram visualmente interpretados como nível, inclinação e curvatura. No entanto, esta identificação ficou mais evidente nas curvas construídas a partir dos FRAs, do que nas curvas obtidas através das cotações do dólar à vista.

1. Introdução

Segundo Alexander (2001), "... muitos mercados financeiros são caracterizados por um alto grau de colinearidade entre os retornos...". A autora aponta ainda que as variáveis são altamente colineares quando há apenas poucas fontes importantes de informação nos dados que são comuns a várias variáveis. Neste contexto, a autora observa que a análise de componentes principais é um método padrão de extração das mais importantes fontes de variação não-correlacionadas em um sistema multivariado.

Barcinski (2002) observa que "...uma característica comum dos ativos de renda fixa nos EUA é que as variações nas taxas de juros para diferentes maturidades podem ser explicadas quase que inteiramente por um modelo de três fatores.". Segundo o autor, Litterman e Scheikman (1991) foram os primeiros a constatar isso e designaram tais fatores como nível, inclinação e curvatura.

O objetivo deste artigo é aplicar a técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) no mercado de Cupom Cambial, e identificar quais são os fatores que influenciam a sua estrutura temporal no mercado brasileiro.

A compreensão dos fatores que regem o comportamento da estrutura a termo de cupom cambial é de grande importância para o mercado de capitais brasileiro, pois é a partir desta estrutura que é realizado o apuração de derivativos, como, por exemplo, o de contratos futuros de dólar comercial negociados na BM&F. Além disso, o cupom cambial é uma das principais variáveis empregadas pelos investidores estrangeiros no seu processo de decisão de investimento no Brasil.

Um dos objetivos da análise de componentes principais é reduzir dimensões de maneira que apenas as fontes mais importantes de informação sejam utilizadas. Duas das principais vantagens desta abordagem apontadas por Alexander (2001) são:

- A eficiência computacional que resulta da falta de correlação entre os componentes principais e a redução de dimensões por abranger apenas alguns destes;

- Fornece uma plataforma tratável e intuitiva que sempre ajudará no entendimento da dinâmica do comportamento do mercado.

A autora observa que a redução significativa no tempo computacional torna a análise de componentes principais uma ferramenta extremamente útil para o gerenciamento de risco em grandes carteiras. Além disso, a autora aponta que uma outra aplicação extremamente útil da análise de componentes principais é a construção de grandes matrizes de covariância positivamente definidas, pois dado que os componentes principais são ortogonais, sua matriz de covariância incondicional é diagonal. Assim sendo, apenas os m componentes principais de variância necessitam ser calculados, em detrimento dos $k(k+1)/2$ elementos diferentes da matriz de covariância $k \times k$ do sistema original.

Análise de componentes principais vem sendo aplicada na modelagem de estrutura a termo de taxas de juros, de sorrisos de volatilidade, e de assimetrias de distribuições de probabilidades, e assim contribuir para o aprimoramento de modelos de apuração e gerenciamento de riscos de ativos e carteiras, através de técnicas como, por exemplo, de imunização com duração (*duration*) e/ou convexidade.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: na seção 2 são apresentados os estudos relacionados ao artigo; na seção 2 são apresentados os estudos relacionados a análise de componentes principais e taxas de juros; a metodologia e dados amostrais são apresentados na seção 3; os resultados obtidos são apresentados na seção 4, as conclusões na seção 5, e as referências bibliográficas na seção 6.

2. Estudos Relacionados

Um dos primeiros trabalhos sobre Análise de Componentes Principais aplicados a taxas de juros é de Litterman e Scheinkman (1991), que identificam três fatores capazes de explicar aproximadamente 98% da variabilidade das taxas implícitas de títulos de diferentes vencimentos do mercado norte-americano. Os autores interpretam os três fatores obtidos como responsáveis pelos movimentos no nível, na inclinação e na curvatura da curva de juros. Barber e Cooper (1996) discutem como o modelo de análise de componentes principais pode ser utilizado para determinar a melhor direção única, e o melhor composto de direções fundamentais a ser utilizado para se antecipar as mudanças na taxa à vista. Posteriormente, os autores mostram como esta informação pode ser utilizada para imunizar um conjunto de passivos. Os autores constroem uma matriz de autovetores a partir de um histórico de dados mensais entre agosto de 1985 e fevereiro de 1991 de taxas de juros para até 39 vencimentos, em uma faixa de um a vinte anos. Os resultados obtidos pelos autores mostraram que o modelo de uma única direção capturou 81% da variância total da taxa à vista, enquanto as segunda, terceira e quarta direções explicaram, respectivamente, adicionais 12%, 4% e 1% da variância total da taxa.

Barcinski (2000) testou o modelo de três fatores usando dados sobre a variação das taxas de juros diárias de nove maturidades distintas: 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias úteis, utilizando dados de janeiro de 1999 até meados de janeiro de 2000. Apesar de ter obtido resultados parecidos com aqueles obtidos por Litterman e Scheinkman (1991) para os Estados Unidos e por Varga e Valli (2001) para o Brasil, o autor julga difícil qualquer comparação entre os resultados dos diferentes trabalhos, pois a maturidade mais curta de Litterman e Scheinkman (1991) equivale a mais longa no Brasil, e Varga e Valli (2001) usam um método diferente para calcular a variação de rendimento. O autor também mostrou como utilizar o modelo de três fatores para a finalidade de hedge, e comparou as estratégias de hedge com um modelo fatorial com o hedge com base na duração, com todas as estratégias de hedge usando o mercado futuro para taxas de juros.

Almeida et al. (2003) propõem um modelo multi-fatorial para a evolução das estruturas a termo em mercados emergentes, usando uma base ortogonal de funções específica para parametrizar o spread de risco de crédito sobre uma curva benchmark livre de risco. Este modelo, que os autores chamam de Modelo Dinâmico de Legendre (MDL), desenvolve a estrutura a termo através de uma combinação linear de variáveis de estado diretamente relacionadas aos polinômios de Legendre, combinadas com a própria da própria curva benchmark. Os autores aplicam o modelo apresentado para estimar conjuntamente a estrutura a termo do mercado de Brady Bonds e Global Bonds brasileiros. As estruturas a termo foram estimadas para o período entre 13/10/1999 e 11/10/2000. Três polinômios de Legendre foram utilizados para gerar todos os possíveis movimentos das estruturas a termo, desta forma gerando um modelo de três fatores: o polinômio de Legendre de grau zero (translação), o polinômio de Legendre de grau um (rotação) e o polinômio de Legendre de grau dois (torção). O coeficiente de Legendre de translação captura o nível de risco sobre o benchmark, percebido pelos investidores ao longo do tempo; o coeficiente de rotação é útil para medir o prêmio de risco na estrutura a termo; e o coeficiente de torção mede o grau de curvatura da estrutura a termo. Os autores concluem que o movimento mais importante para a estrutura a termo de Globals é relacionado ao fator de translação, que explica 54,7% da variabilidade da curva. Movimentos de rotação capturam 32,3% da variabilidade, enquanto movimentos de torsão são responsáveis pelos 13% restantes. Já com relação ao mercado de Brady Bonds, translações capturam 61% dos movimentos, rotações representam 8% e torsões, 31%. Segundo os autores, este é um resultado surpreendente quando comparado a estudos empíricos realizados com dados de mercados desenvolvidos. Estes estudos normalmente identificam os movimentos de translação como responsáveis por algo entre 80% e 90% dos movimentos da estrutura a termo, também indicando movimentos de torsão como de menor importância. Resumimos nas tabelas abaixo os estudos relacionados com a aplicação da análise de componentes principais e os fatores que explicam o comportamento da estrutura temporal de taxas de juros, tanto no exterior (Tabela 1) como no mercado brasileiro (Tabela 2).

Tabela 1. Estudos sobre PCA em mercados estrangeiros

Autores	Ano publicação	Metodologia	Amostra	Resultados obtidos
Alexander, C.	2001	<ul style="list-style-type: none"> 1ª diferença 	Dados mensais de taxas zero-coupon semi-anualizadas dos Estados Unidos para o período entre 1944 e 1992	<ul style="list-style-type: none"> 1º comp: 78,6% 2º comp: 11,7% 3º comp: 3,5% 3 e 1ºs comp: 93,8%
Alexander, C.	2001	<ul style="list-style-type: none"> 1ª diferença de duas curvas diferentes 	Dados diários entre 1º de janeiro de 1992 e 24 de março de 1995 para 10 vencimentos da curva de juros norte-americana e 11 vencimentos da curva de juros inglesa	<ul style="list-style-type: none"> 1º comp: 71,29% 2º comp: 24,7% 3º e 4º comp: 3%
Alexander, C.	2001	<ul style="list-style-type: none"> 1ª diferença de preços 	Preços futuros do NYMEX sweet crude oil de 1 a 12 meses para o período entre 4 de fevereiro de 1993 a 24 de março de 1999	<ul style="list-style-type: none"> 1º comp: 96%
Barber, J.; Mark L.	1996	<ul style="list-style-type: none"> 1ª diferença 	Dados mensais entre agosto de 1985 e fevereiro de 1991 de taxas de juros para até 39 vencimentos, em uma faixa de um a vinte anos, retirado do arquivo de taxas de juros de McCulloch-Kwon (1993).	<ul style="list-style-type: none"> 1º comp: 81% 2º comp: 12% 3º comp: 4% 4º comp: 1%
Litterman, R.; Scheinkman, J.	1991	<ul style="list-style-type: none"> Modelo de 3 fatores Retorno em excesso 	Zero-bonds	<ul style="list-style-type: none"> 1º comp: 89,5% da variação explicada

		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Zero-bonds</i> 		<ul style="list-style-type: none"> • 2º comp: 8.5% da variação explicada • 3º comp: 2% da variação explicada • 3 componentes: 98.4% da variação total
Litterman, R.; Scheinkman, J.	1991	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de 3 fatores • Retorno em excesso • <i>Coupon-bonds</i> 	Preços semanais (toda quarta-feira) de 22 de fevereiro de 1984 a 17 de agosto de 1988, retirados das cotações das 15:00hs da Goldman Sachs.	<ul style="list-style-type: none"> • 3 componentes: 97% da variação total
Litterman, R.; Scheinkman, J.; Knez, P.	1994	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de 3 fatores • Exclusão da T-Bill de 1 mês 	Dados entre Janeiro de 1985 e Agosto de 1988 de 38 instrumentos que representam 5 diferentes setores. Em cada setor os autores selecionaram entre 4 e 9 instrumentos genéricos entre o menor e o maior vencimento disponível até um ano (retornos semanais).	<ul style="list-style-type: none"> • 1º comp: 73% da variação explicada • 2º comp: 12% da variação explicada • 3º comp: 15% da variação explicada • 3 componentes: 86% da variação total
Litterman, R.; Scheinkman, J.	1994	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de 4 fatores • Exclusão da T-Bill de 1 mês 	Dados entre Janeiro de 1985 e Agosto de 1988 de 38 instrumentos que representam 5 diferentes setores. Em cada setor os autores selecionaram entre 4 e 9 instrumentos genéricos entre o menor e o maior vencimento disponível até um ano (retornos semanais).	<ul style="list-style-type: none"> • 4 componentes: 90% da variação total

Tabela 2. Estudos sobre PCA no mercado brasileiro

Autores	Ano publicação	Metodologia	Amostra	Resultados obtidos
Almeida, C.; Duarte, A.; Fernandes, C.	2003	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo Dinâmico de Legendre 	Estrutura a termo do mercado de Brady Bonds brasileiros para o período entre 13/10/1999 e 11/10/2000	<ul style="list-style-type: none"> • 1º comp: 54,7% • 2º comp: 32,3% • 3º comp: 13%
Almeida, C.; Duarte, A.; Fernandes, C.	2003	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo Dinâmico de Legendre 	Estrutura a termo do mercado de Global Bonds brasileiros para o período entre 13/10/1999 e 11/10/2000	<ul style="list-style-type: none"> • 1º comp: 61% • 2º comp: 8% • 3º comp: 31%
Barcinski, A.	2002	<ul style="list-style-type: none"> • Diferença entre os juros anuais de 'abertura' e de 'fechamento' para diversos prazos de vencimento • Interpolação linear 	Variação das taxas de juros diárias de nove maturidades distintas: 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 dias úteis, utilizando dados de janeiro de 1999 até meados de janeiro de 2000 do mercado de DI.	<ul style="list-style-type: none"> • 1º comp: significante para todas as maturidades, com poder explanatório maior para maturidades mais longas • 2º comp: não significativamente diferente de zero para maturidades mais longas • 3º comp: não significativamente diferente de zero para maturidades de 40, 100 e 120 dias úteis
Oliveira, A.	2003	<ul style="list-style-type: none"> • Extensão das taxas <i>forward</i> para até 2 anos • Variações diárias das taxas 	Taxas de referência da Bolsa de Mercadorias e Futuros para o período que compreende 01/07/1999 a 30/12/2002 (DI). Taxas	<ul style="list-style-type: none"> • 1º comp: 64,22% • 3 e 1ºs comp: 92,65%

			para 21, 42, 63 e 121 dias úteis.	
Silveira , B.; Bessada, O.	2003	<ul style="list-style-type: none"> • Leva em consideração a estrutura funcional dos dados sendo analisados • <i>Splines</i> interpolantes • <i>Spreads</i> 	3 primeiros vencimentos de DI futuro e taxas de swap para 6, 12, 24 e 36 meses para o período 16/07/1999 a 28/05/2001	<ul style="list-style-type: none"> • as três componentes principais acima não diferem, relativamente à sua interpretabilidade, daquelas obtidas segundo técnicas mais tradicionais de análise multivariada em contextos similares
Varga , G.; Valli, M.	2002	<ul style="list-style-type: none"> • Variação da taxa 	Taxas prefixadas implícitas em swaps PrexDI BM&F, com prazo de até 1 ano, abrangendo o período entre 02/01/1995 a 06/07/1999 (para cada dia, os autores construíram uma ET com 12 taxas com intervalos de aproximadamente um mês)	<ul style="list-style-type: none"> • 3 fatores explicam 94,3% dos movimentos da estrutura a termo de taxa de juros no Brasil

Na Tabela 1 e Tabela 2 pode ser percebido que tanto nos estudos brasileiros quanto nos estrangeiros que foi evidenciada a significância de três principais fatores que descrevem o comportamento de estruturas a termo de taxas de juros: nível, inclinação e curvatura.

3. Dados e Metodologia

Alexander (2001) aponta que os dados utilizados para a análise de componentes principais devem ser estacionários. Como preços e taxas são geralmente não estacionários, devem ser transformados, comumente em retornos, antes da aplicação da análise de componentes principais. Além disso, conforme a autora, esses retornos também necessitam ser normalizados antes da análise, ou então o primeiro componente principal será dominado pela variável utilizada com a maior volatilidade. Desta forma, assume-se que cada coluna da matriz T_{xk} de dados estacionários X , tem média 0 e variância 1. A análise de componentes principais é baseada em uma análise de autovalores e autovetores de $V = X'X/T$, a matriz simétrica $k \times k$ de correlações entre as variáveis em X . Cada componente principal é uma combinação linear dessas colunas, onde os pesos são escolhidos de maneira que:

- o primeiro componente explica a maior quantidade de variação total em X , o segundo componente explica a maior quantidade da variação restante, e assim por diante;
- os componentes principais são não correlacionados entre si.

Segundo Alexander (2001), em um sistema altamente correlacionado o primeiro autovalor será muito maior do que os demais, de forma que o primeiro componente principal sozinho explicará grande parte da variação. Além disso, cada vetor dos dados utilizados pode ser escrito como uma combinação linear dos componentes principais. Na aplicação do técnica de componentes principais, as estruturas a termo são especiais porque elas impõem uma ordenação ao processo, que fornece uma interpretação intuitiva de todos os componentes principais, e não apenas o primeiro.

Para a realização do presente estudo foi utilizada inicialmente uma série de cotações de ajuste do contrato de FRA (Forward Rate Agreement) de cupom cambial da BM&F (Bolsa de Mercadorias e Futuros), calculadas e disponibilizadas pela mesma. A amostra constou de dados entre 02/01/2002 e 29/12/2005 para todos os contratos disponíveis em cada data, sendo excluídos aqueles contratos cujo volume de negociação fosse inferior a dois negócios na data. Com base nos dados de taxas a termo disponíveis foi estimada a estrutura a termo de taxas de cupom cambial para os vértices entre 21 e 756 dias da data do vencimento do primeiro contrato de DDI (contrato futuro de cupom cambial da BM&F), com intervalos de 21 dias

entre cada vértice. O prazo máximo de 756 dias foi escolhido com base na liquidez dos dados disponíveis. De acordo com a tabela a seguir, para os contratos com mais de um negócio na data, 96% dos negócios se concentram em um prazo de até 756 dias úteis:

Tabela 3. Total de negócios efetuados

Prazo	Total	% dos negócios	% acumulado dos negócios
18-252	271.731,00	76,61%	76,61%
253-504	50.800,00	14,32%	90,93%
505-756	19.261,00	5,43%	96,36%
757-1008	7.614,00	2,15%	98,51%
1009-1260	3.884,00	1,10%	99,61%
1261-1512	1.104,00	0,31%	99,92%
1513-1764	153,00	0,04%	99,96%
1765-2016	142,00	0,04%	100,00%
Total	354.689,00	100,00%	

As taxas foram transformadas da base linear anualizadas por 360 dias corridos para a base exponencial anualizada por 252 dias úteis. Como o vencimento dos contratos é fixo na data e variável nos prazos, foi necessária a interpolação dos dados para os prazos determinados, através da metodologia de cubic spline, com base no código disponível em artigo de Varga (2000).

A partir dos dados já interpolados foram calculados as variações percentuais diárias nas taxas anualizadas, variações estas que foram então normalizadas. Finalmente calculou-se a matriz de covariância dos dados de variações diárias normalizados.

Com base na matriz de covariância já calculada foi possível, então, proceder a Análise de Componentes Principais. A estimação dos auto-vetores e dos auto-valores da matriz de covariância foi efetuado com base em código disponível em Alexander (2001), código este que se utiliza da decomposição de Cholesky para calcular os auto-vetores e os auto-valores.

A Análise de Componentes Principais foi realizada para os prazos de 252, 504 e 756 dias, seguindo os critérios de liquidez já abordados anteriormente.

Os passos da metodologia empregada são resumidos pelas seguintes etapas:

1. Levantamento do banco de dados: cotações de ajuste – FRAs BM&F entre 02/01/2002 e 29/12/2005;
2. Expurgo dos vencimentos com menos de dois negócios no dia;
3. Cálculo de dias corridos entre primeiro vencimento de DDI e o vencimento dos FRAs;
4. Cálculo de dias úteis entre o primeiro vencimento de DDI e o vencimento dos FRAs;
5. Transformação das taxas base linear/360 em taxas base exponencial/252;
6. Interpolação dos dados com base na metodologia de interpolação c-spline extraída de Varga (2000);
7. Cálculo das primeiras diferenças entre as taxas (por subtração);
8. Cálculo da média e do desvio-padrão das primeiras diferenças;
9. Cálculo dos dados normalizados ((primeiras diferenças – média)/desvio-padrão));
10. Cálculo da matriz de covariância dos dados normalizados;
11. Análise de componentes principais para 1, 2 e 3 anos:
 - i. Cálculo dos auto-vetores (componentes principais) através de código extraído de Alexander (2001);
 - ii. Cálculo dos auto-valores através de código extraído de Alexander (2001);
 - iii. Cálculo da variância explicada por cada um componentes principais para cada um dos vértices.

As etapas da metodologia acima foram feitas com base na curva *forward* para 1 mês, compostas somente por FRAs. O mesmo procedimento foi aplicado para a curva de preços à vista do dólar (*spot*), que incluem o cupom cambial limpo para o primeiro vencimento, que é obtido com base no primeiro DDI (contrato futuro de cupom cambial negociado na BM&F) e no diferencial entre a taxa de câmbio à vista e a PTAX divulgada pelo sistema Sisbacen do Banco Central do Brasil.

4. Resultados Obtidos

Ao aplicarmos a análise de componentes principais a estrutura temporal de cupom cambial construída com base nos contratos futuros de cupom cambial (DDI) e os FRAs de cupom cambial, obtivemos resultados similares aos dos estudos efetuados com estruturas a termo de taxas de juros nos Estados Unidos (como, *treasury bills*) e no Brasil (como, os estudos feitos sobre a taxa de juros DI).

Na Tabela 4 e Tabela 5 abaixo, podemos constatar que para períodos de análise de um, dois, ou três anos, somente três fatores explicam algo entre 95% e 98% da variabilidade das taxas de cupom cambial.

Tabela 4. Variância explicada por cada fator

	PCA 1 ano	PCA 2 anos	PCA 3 anos
Fator 1	83,12%	65,71%	55,88%
Fator 2	11,27%	21,78%	33,94%
Fator 3	3,78%	7,14%	5,55%
Fator 4	0,92%	2,57%	2,55%
Fator 5	0,59%	1,85%	1,27%
Fator 6	0,23%	0,46%	0,31%
Fator 7	0,08%	0,25%	0,27%
Fator 8	0,01%	0,12%	0,09%
Fator 9	0,00%	0,07%	0,08%
Fator 10	0,00%	0,03%	0,04%
Fator 11	0,00%	0,01%	0,02%
Fator 12	0,00%	0,00%	0,01%
Fator 13	0,00%	0,00%	0,00%
Acumulada	100,00%	100,00%	100,00%

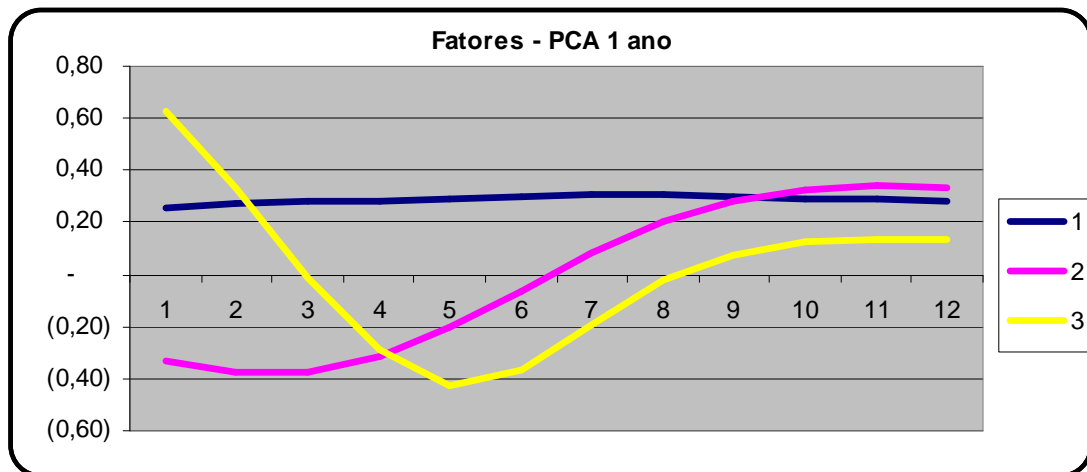
Tabela 5. Variância explicada acumulada

	PCA 1 ano	PCA 2 anos	PCA 3 anos
Fator 1	83,12%	65,71%	55,88%
Fator 2	94,39%	87,49%	89,81%
Fator 3	98,17%	94,63%	95,37%
Fator 4	99,09%	97,20%	97,91%
Fator 5	99,68%	99,05%	99,19%
Fator 6	99,91%	99,51%	99,50%
Fator 7	99,99%	99,76%	99,77%
Fator 8	100,00%	99,88%	99,86%
Fator 9	100,00%	99,95%	99,94%
Fator 10	100,00%	99,99%	99,97%
Fator 11	100,00%	100,00%	99,99%
Fator 12	100,00%	100,00%	100,00%
Fator 13	100,00%	100,00%	100,00%

Já nos gráficos a seguir podemos constatar visualmente que independentemente do período de análise, os três principais fatores obtidos na aplicação da técnica de componentes principais podem ser interpretados como os responsáveis pelo comportamento do nível, inclinação e curvatura, respectivamente.

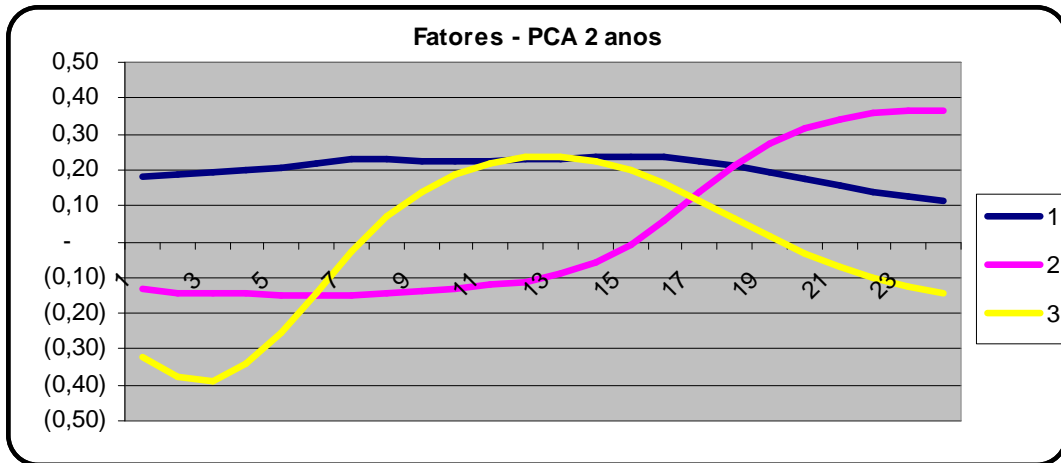
Também podemos perceber através da análise dos Gráficos 1 a 3, e da Tabela 4, que para períodos mais longos a importância do nível diminui, enquanto aumenta o peso da inclinação para explicação da estrutura temporal de cupom cambial. Este resultado pode ser explicado pelas variações do formato da estrutura a termo ocorrerem, e terem seu efeito percebido no médio e longo prazos, em função do desenvolvimento do mercado ou mudanças de políticas macro-econômicas.

Gráfico 1. Valores dos fatores mensais do PCA de 1 ano



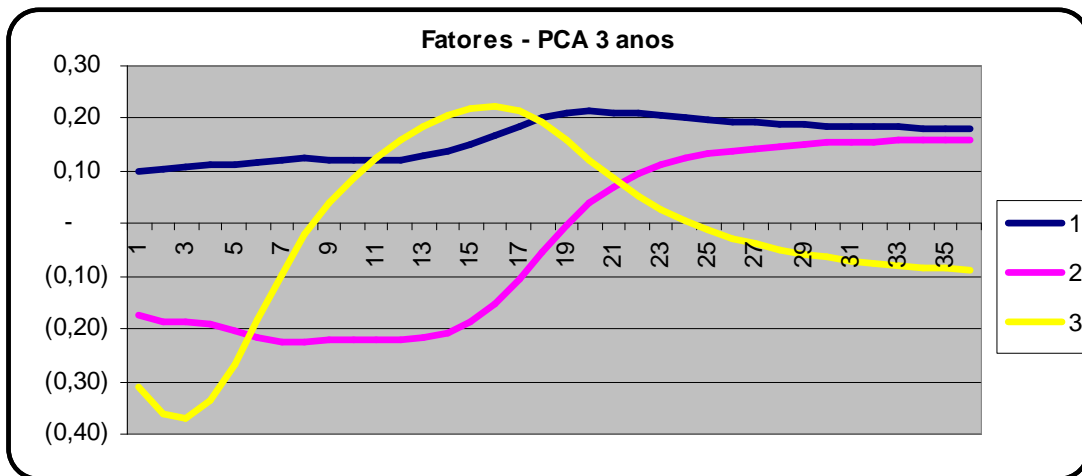
Os valores 1, 2, e 3 nas legendas do Gráfico 1 acima, e demais gráficos abaixo, correspondem aos primeiros três fatores obtidos na análise de componentes principais. O primeiro componente, representando o nível da curva de cupom cambial é praticamente constante para todos os períodos avaliados.

Gráfico 2. Valores dos fatores mensais do PCA de 2 anos



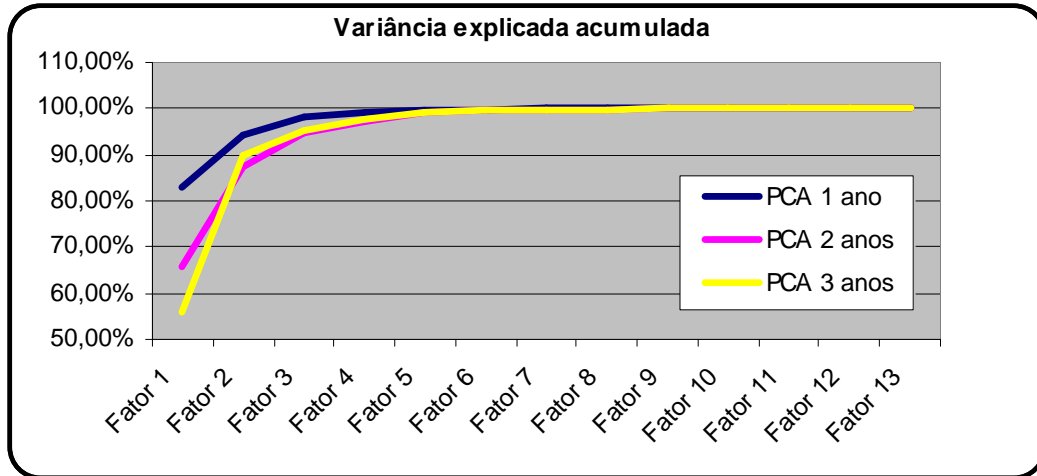
O segundo componente, equivalente a inclinação da curva de cupom cambial é crescente para todos os períodos analisados, e fica maior conforme o prazo estudado. O terceiro fator, responsável pela curvatura da estrutura temporal de cupom cambial, apresenta comportamento distinto no curto prazo (um ano) em comparação com os resultados de médio e longo prazos (dois e três anos respectivamente). No curto prazo a curvatura tende a cair, mas apresenta tendência de alta nos períodos de dois e três anos, mais especificamente no intervalo de tempo entre o 13º. e 17º. meses avaliados. Dentro da amostra deste artigo, este período equivale aos primeiros meses do governo do presidente Luis Inácio Lula da Silva, quando o cupom cambial começou a diminuir depois de uma alta que levou a cotação do dólar norte-americano a aproximadamente R\$ 4,00/US\$ em outubro de 2002.

Gráfico 3. Valores dos fatores mensais do PCA de 3 anos



O Gráfico 4 abaixo mostra que grande quantidade de explicação da variabilidade do cupom cambial é dada por somente três fatores.

Gráfico 4. Variância explicada acumulada por período estudado



Os gráficos e tabelas a seguir apresentam os resultados do emprego da análise de componentes principais utilizando-se a curva de preços à vista do dólar norte-americano, para se obter o cupom cambial limpo, ao invés dos FRAs de cupom cambial, que já é um contrato a termo de cupom cambial limpo.

Contrariamente aos resultados obtidos com a curva de cupom cambial construída por meio de FRAs, as análises de componentes principais para a curva construída a partir dos negócios com dólar à vista não apresentaram em todos períodos (Gráfico 5, Gráfico 6, e Gráfico 7) uma explicação intuitiva para os fatores obtidos. Assim, não podemos claramente identificar os componente: nível, inclinação, e curvatura.

Gráfico 5. Valores dos fatores mensais do PCA de 1 ano - Dólar à Vista

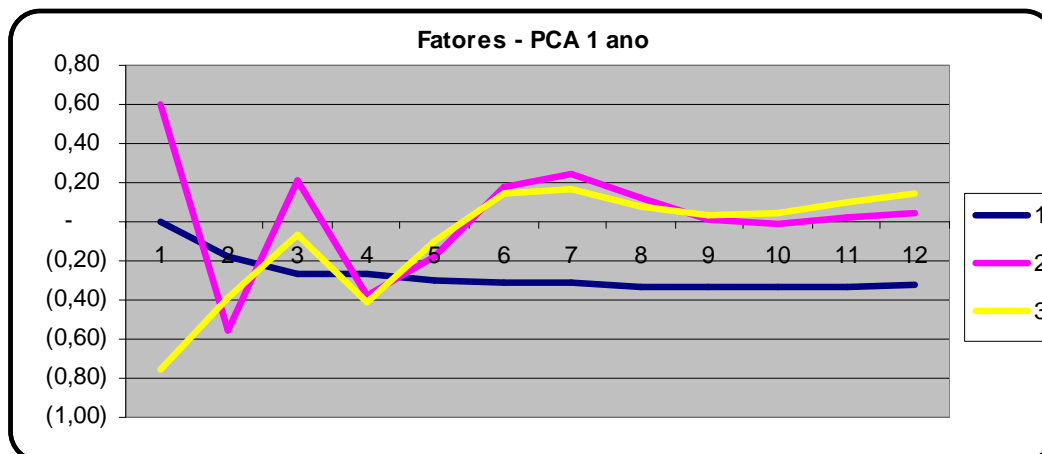


Gráfico 6. Valores dos fatores mensais do PCA de 2 anos - Dólar à Vista

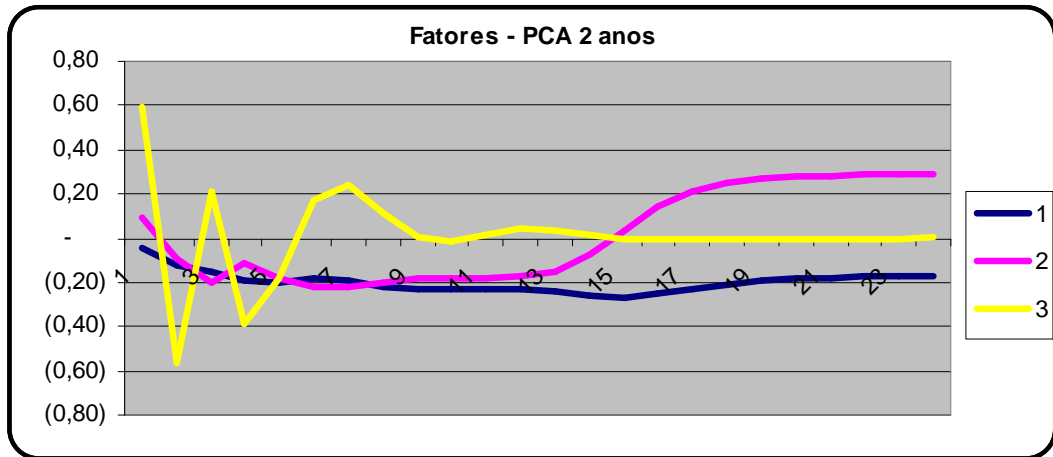
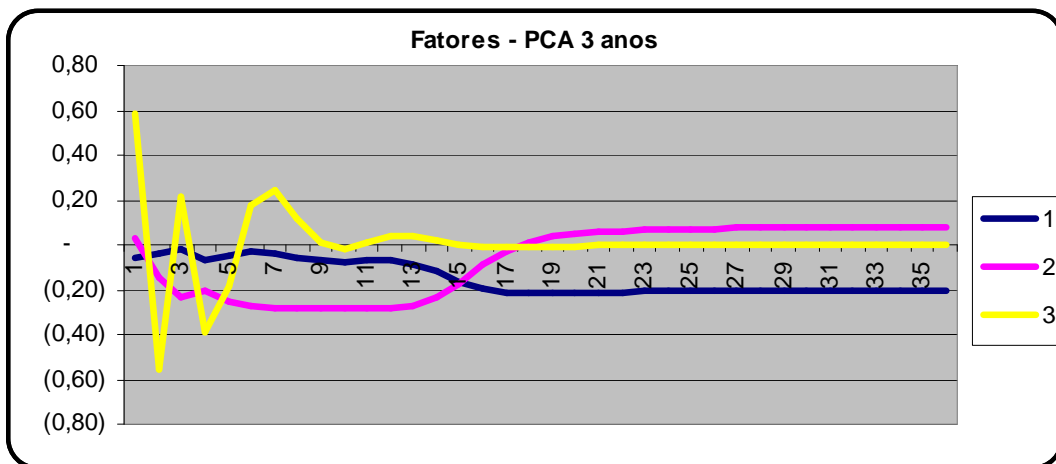


Gráfico 7. Valores dos fatores mensais do PCA de 3 anos - Dólar à Vista



No Gráfico 6 e Gráfico 7, que são relacionados a períodos de médio e curto prazos, pode-se identificar os fatores correspondentes ao nível e inclinação das curvas de cupom cambial, mas o fator da curvatura não pode ser caracterizado claramente.

Tabela 6. Variância explicada por cada fator - Dólar à Vista

	PCA 1 ano	PCA 2 anos	PCA 3 anos
Fator 1	70,21%	53,76%	60,53%
Fator 2	13,82%	30,16%	28,38%
Fator 3	5,43%	6,92%	4,61%
Fator 4	4,86%	3,31%	2,32%
Fator 5	2,96%	1,98%	1,33%
Fator 6	1,44%	1,49%	1,00%
Fator 7	1,03%	1,20%	0,92%
Fator 8	0,23%	0,67%	0,46%
Fator 9	0,02%	0,40%	0,32%
Fator 10	0,00%	0,10%	0,09%
Fator 11	0,00%	0,02%	0,02%
Fator 12	0,00%	0,01%	0,01%
Fator 13	0,00%	0,00%	0,00%
Acum	100,00%	100,00%	100,00%

A Tabela 6 e Tabela 7 mostram ainda a importância dos três primeiros fatores da análise de componentes na explicação da variabilidade da curva de cupom cambial.

Tabela 7. Variância explicada acumulada - Dólar à Vista

	PCA 1 ano	PCA 2 anos	PCA 3 anos
Fator 1	70,21%	53,76%	60,53%
Fator 2	84,02%	83,93%	88,91%
Fator 3	89,46%	90,84%	93,53%
Fator 4	94,32%	94,15%	95,85%
Fator 5	97,28%	96,13%	97,17%
Fator 6	98,72%	97,61%	98,17%
Fator 7	99,75%	98,81%	99,09%
Fator 8	99,98%	99,48%	99,56%
Fator 9	100,00%	99,87%	99,88%
Fator 10	100,00%	99,97%	99,97%
Fator 11	100,00%	99,99%	99,99%
Fator 12	100,00%	100,00%	100,00%
Fator 13	100,00%	100,00%	100,00%

5. Conclusões

Neste artigo é apresentada pela primeira vez uma aplicação da análise de componentes principais para identificação dos fatores que influenciam o comportamento, e para análise da variabilidade da estrutura temporal de cupom cambial, que representa uma das variáveis chave para apreçamento de derivativos cambiais, e decisão de investimento no Brasil por parte de investidores estrangeiros, pois pode ser encarado como a relação entre a taxa de juros no mercado brasileiro e a desvalorização esperada para a moeda Real (R\$). O entendimento dos fatores que influenciam o comportamento da curva de cupom melhora a gestão de riscos cambiais, pois logo tanto investidores internacionais quanto devedores nacionais podem incrementar suas estratégias de imunização e hedging de risco cambial.

A aplicação da técnica de componentes principais para curvas de cupom cambial brasileiras, foi feita de duas formas para períodos de 1, 2 e 3 anos: em curvas construídas por meio de derivativos (FRAs) negociados na BM&F, e em curvas obtidas através das cotações do dólar norte-americano à vista. Da mesma forma que em trabalhos anteriores, três fatores foram

responsáveis pela explicação de no mínimo 95% da variabilidade das estrutura temporal de cupom cambial, sendo que estes fatores foram visualmente interpretados como nível, inclinação e curvatura.

No entanto, esta identificação ficou mais evidente nas curvas construídas a partir dos FRAs, do que nas curvas obtidas através das cotações do dólar à vista. Isto pode ser explicado pela maior liquidez existente nos contratos derivativos (FRAs) do que a do mercado de dólar à vista, principalmente nos primeiros 12 meses da amostra, que englobou as eleições presidenciais de 2002, quando o mercado de derivativos apresentava maior liquidez do que o mercado à vista de câmbio.

A partir deste trabalho novas técnicas de hedging, de títulos ou carteiras cambiais, podem ser desenvolvidas incorporando os três fatores identificados no mercado de cupom cambial, contribuindo assim para melhor gestão de risco, apreçamento de derivativos, e títulos.

6. Referências Bibliográficas

ALEXANDER, C. *Market Models: A Guide to Financial Data Analysis*. John Wiley & Sons, 1st edition, 2001.

ALMEIDA, C.; DUARTE, A.; FERNANDES, C. “A generalization of principal component analysis for non-observable term structures in emerging markets”, *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, v.6, n.8, pp.885–903, 2003.

BARBER, J.R.; COPPER, M.L. “Immunization using principal component analysis”, *Journal of Portfolio Management*, pp.99–105, fall, 1996.

BARCINSKI, A. “Hedging strategies using a multifactor model for the Brazilian interest rate”, Working paper, 2000.

LITTERMAN, R.; SCHEINKMAN, J. “Common factors affecting bond returns”, *Journal of Fixed Income*, v.1, pp.54–61, june, 1991.

LITTERMAN, R.; SCHEINKMAN, J.; KNEZ, P. “Explorations into factors explaining money market returns”, *Journal of Finance*, v.49, n.5, pp. 1861-1882, 1994.

OLIVEIRA, A. “Modelos de estrutura a termo de taxas de juros: Um teste empírico”, Dissertação de Mestrado, FGV-EPGE, 2003.

SILVEIRA, G. B.; BESSADA, O. “Análise de componentes principais de dados funcionais: uma aplicação às estruturas a termo de taxas de juros”, Trabalhos para Discussão. Banco Central do Brasil, n.73, maio, 2003.

VALLI, M.; VARGA, G. “Movimentos da Estrutura a Termo da Taxa de Juros Brasileira e Imunização”, *Revista de Estudos Avançados da USP*, janeiro, 2001.

VARGA, G. “Interpolação por Cubic Spline para a Estrutura a Termo Brasileira”, *Resenha BM&F*, n.140, pp.29-35, jul-ago, 2000.