

Relatório Coppead é uma publicação do Instituto COPPEAD de Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Comissão de Pesquisa

Angela Rocha
Paulo Fernando Fleury
Ricardo Leal

Gerência de Publicações

Simone da Rocha Weitzel

Projeto Gráfico

Raquele Mendes Coelho

Editoração Eletrônica

Adriana Baptista Pereira

Revisão e Copidesque

Martha Amália Dias de Sá

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca do COPPEAD/UFRJ

Lemgruber, Eduardo Facó
Comparação das metodologias de mapeamento
sugeridas pelo RiskMetrics para o cálculo de risco de mercado
de títulos pré-fixados no Brasil/ Eduardo Facó Lemgruber;
Décio Cunha Jr. – Rio de Janeiro : UFRJ/COPPEAD, 2000.
17 p.; 27 cm. – (Relatórios COPPEAD ; 327).
ISBN 85-7508-005-9
ISSN: 1518-3335

1. Seguros I. Cunha Jr., Décio. II. Título. III. Série.

Central de atendimento

Caixa Postal 68514
Ilha do Fundão
21941-970 – Rio de Janeiro – RJ
Telefone: 21-598-9898
Fax: 21-598-9848
e-mail: atendimento@coppead.ufrj.br
Home-page: <http://www.coppead.ufrj.br>

Comparação das Metodologias de Mapeamento Sugeridas pelo RiskMetrics™ para o Cálculo de Risco de Mercado de Títulos Pré-Fixados no Brasil

Eduardo Facó Lemgruber

Décio Cunha Jr.

Diversas instituições brasileiras adotam para cálculo e acompanhamento de risco de mercado a metodologia RiskMetrics™. Recentemente, o RiskMetrics Group sugeriu um aperfeiçoamento no processo de mapeamento dos fluxos de caixa. Esse trabalho analisa as diferenças entre as duas metodologias, e compara seus resultados, para os últimos dois anos, no mercado brasileiro das taxas de juro e de cupons cambiais. Apesar das diferenças conceituais existentes entre os procedimentos, os resultados dos cálculos dos percentuais de alocação aos vértices, dos cálculos dos valores em risco e dos testes de acurácia foram semelhantes.

1. INTRODUÇÃO

Na última década, as instituições financeiras brasileiras implantaram sistemas de análise de risco que permitem o acompanhamento gerencial de seus negócios. Muitos bancos optaram pela metodologia paramétrica de cálculo de risco de mercado, conhecida por RiskMetrics™ (1996), disponibilizada pelo J. P. Morgan.¹ Para o caso de ativos pré-fixados com prazos de vencimentos distintos, e que se modificam a cada dia, é necessário quantificar os fatores de risco que são responsáveis pelas variações de seus preços. A metodologia sugerida escolhe um conjunto de taxas de juro e de cupons cambiais, com prazos constantes, que permite, por um simples processo de decomposição de fluxos de caixa, a marcação a mercado de todos os papéis e o cálculo dos riscos. Os fatores escolhidos são conhecidos como *vértices*. O procedimento é completo. Qualquer papel de renda fixa pode ser decomposto em um conjunto de títulos do tipo zero-cupom que, individualmente, podem ser distribuídos entre os vértices escolhidos.

Recentemente, o RiskMetrics Group (1999) sugeriu um aperfeiçoamento no processo de decomposição de fluxos de caixa em vértices. A motivação para a mudança surgiu após análise do comportamento das taxas de juro do dólar australiano, AUD. Os autores identificaram que, para poucos casos, a distribuição entre os vértices pela

¹ Jorion (1997).

metodologia original não parecia intuitiva. O novo procedimento corrige esta distorção. Ele é recomendado pelo Banco Central do Brasil para alocação dos fluxos de caixa aos vértices para cálculo da exigência de capital das instituições financeiras². As duas metodologias baseiam-se na premissa de uma estrutura de taxas a termo plana, *flat forwards*, entre vértices adjacentes, e conduzem a resultados de avaliação de risco diferentes.

Este trabalho compara, para um conjunto de quatro vértices, as duas metodologias de mapeamento sugeridas, para taxas de juro e cupons cambiais no Brasil, durante os dois últimos anos. Ele não tem o objetivo de criticar os métodos e escolher qual deles é mais apropriado. Seu objetivo é aplicar os processos ao mercado de taxas pré-fixadas brasileiro. O trabalho está organizado em cinco seções. A segunda seção sumariza as duas metodologias indicando suas diferenças. A terceira seção descreve a amostra, a metodologia dos testes e discute as falhas de avaliação que podem ocorrer quando se pressupõe a existência de estruturas de taxas de juro *flat forwards*, simultaneamente para o mercado e para os vértices. Em seguida, a quarta seção apresenta e discute os resultados da comparação das duas metodologias e estende o trabalho para verificar as implicações na modelagem de risco.

2. METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO DE FLUXOS DE CAIXA

O RiskMetrics Group (1999) sugere que não existe uma única maneira de separar fluxos de caixa em dois vértices, e que uma solução para mapeamento adequada deve atender a três condições: primeira, o valor presente dos fluxos de caixa deve ser preservado; segunda, a volatilidade de preço destes fluxos deve ser mantida, e finalmente, os sinais devem ser corretamente conservados.

A metodologia original sugerida pelo J. P. Morgan para conversão de fluxos de caixa parte da interpolação linear temporal dos fatores de risco dos vértices adjacentes para determinar o fator de risco do título³. Em seguida, calcula o percentual alocado em cada vértice de tal forma que a volatilidade do título seja mantida. Finalmente, o valor presente do título é dividido e alocado nos vértices com base nos percentuais obtidos⁴.

² Banco Central do Brasil (2000a). Os vértices inicialmente fixados são de 1, 21, 42, 63, 126, 252, 504 e 756 dias úteis.

³ RiskMetrics (1996).

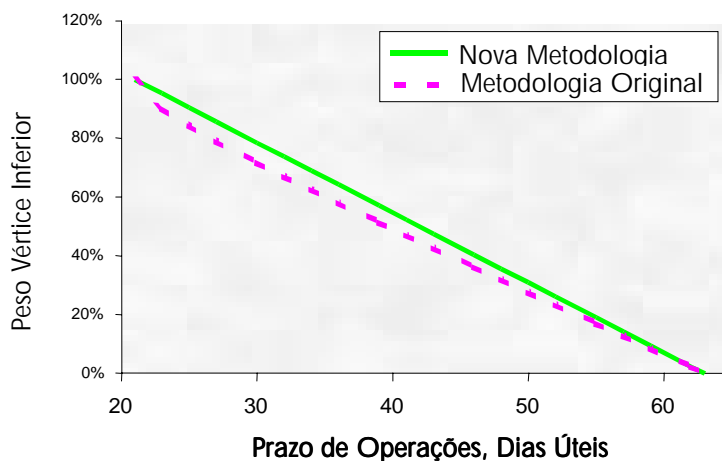
⁴ RiskMetrics™ (1996) páginas 117-122.

Nesse procedimento, os percentuais de distribuição dependem das volatilidades dos fatores de risco de cada vértice e da correlação entre eles.

A nova metodologia sugerida pelo grupo inverte a ordem de procedimentos. Uma simples interpolação linear temporal do valor presente do título é usada para determinar os percentuais de alocação. Neste caso, esses percentuais não dependem das volatilidades e correlações entre os vértices. O procedimento proposto atende às três condições necessárias para o correto mapeamento descritas no início desta seção. Os autores acrescentam que, se a metodologia de vértices é usada para o acompanhamento das volatilidades e correlações das taxas de juro, ela está correta quando se assume a premissa da existência uma estrutura de taxas de juro plana, *flat forwards*, entre os vértices.

Para ilustrar os resultados de alocação obtidos pelas duas metodologias propostas, são apresentados abaixo os resultados para o mercado de curto prazo de taxas de juro em 24 de abril de 2000. Nesta data, as taxas dos vértices de 21 e 63 dias úteis eram 18,73% e 19,73%, respectivamente, efetivas ao ano. O coeficiente de correlação estimado entre elas era 0,35. A Figura 1, que se segue, mostra as diferenças dos percentuais de alocação no vértice inferior de 21 dias. Pela nova metodologia, os pesos são distribuídos entre os vértices de forma linear. Repare que a diferença entre as duas metodologias aumenta com a proximidade do vértice inferior. Esta diferença depende da correlação entre os vértices.

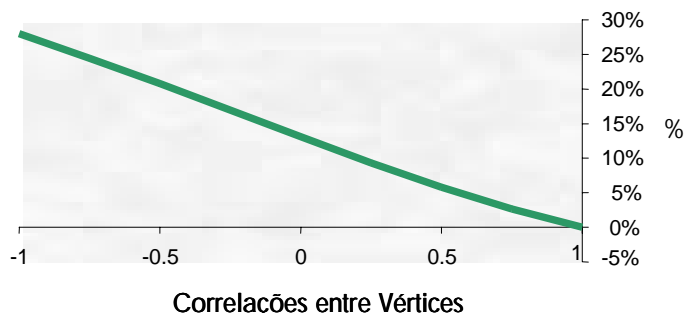
Figura 1: Percentuais de Alocação no Vértice Inferior de 21 dias Úteis. Mercado de Taxas de Juro em 24/04/2000. Taxas dos Vértices Inferior 18,73%, e Superior 19,73%. Coeficiente de Correlação, 0,35.



Para o mesmo dia de análise, foram simuladas as diferenças percentuais de alocação ao vértice inferior para correlações fictícias. A Figura 2 mostra as variações para um prazo intermediário de 27 dias úteis, relativamente próximo ao vértice inferior,

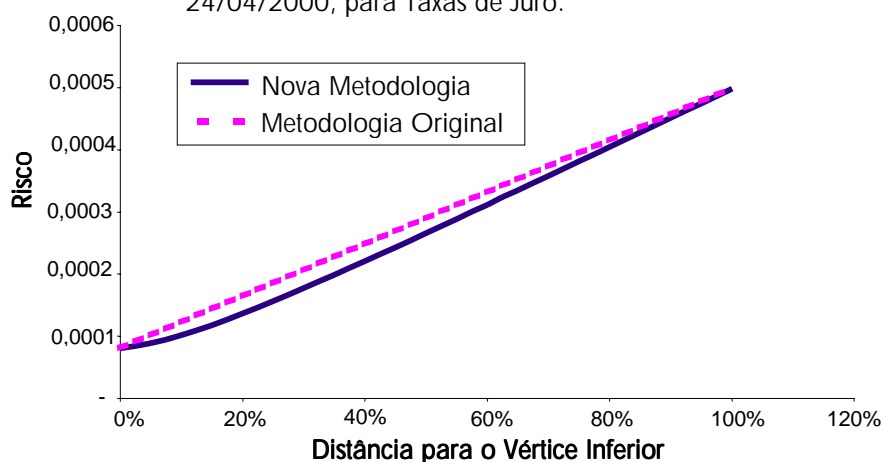
onde as oscilações são mais acentuadas. Como esperado, as diferenças são mais significativas para os menores valores de correlações.

Figura 2: Diferenças Relativas entre os Percentuais de Alocação no Vértice Inferior, para Diferentes Correlações Simuladas. Para um Título com Prazo de 27 Dias Úteis.



Os pontos apresentados claramente sugerem que cada metodologia apresentará resultados diferentes no cálculo de risco. A Figura 3 indica as diferenças nos valores de risco calculados para diferentes prazos entre os vértices de 21 e 63 dias úteis em 24 de abril de 2000. Note que as diferenças também são mais acentuadas quando os títulos estão próximos ao vértice inferior. Note, ainda, que a distribuição de risco se comporta de forma linear para o processo original. Enquanto que pela nova metodologia proposta, o percentual de alocação é linear, (Figura 1), a distribuição de risco para prazos diferentes entre vértices se dá de forma não-linear e, representa, convenientemente, as características de risco dos vértices, o que não acontece com o antigo processo.

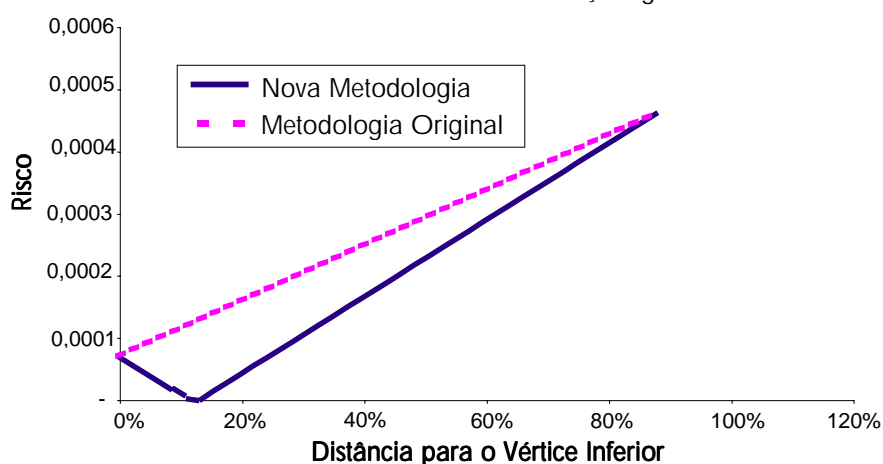
Figura 3: Valores em Risco Para Diferentes Prazos Vencimentos entre os Vértices de 21 e 63 Dias Úteis, Calculados com Base nos Fatores de Risco dos Vértices em 24/04/2000, para Taxas de Juro.



Um exemplo radical ilustra esse ponto. Suponha a existência de dois vértices de 21 e 63 dias úteis, e uma situação extrema, com fatores de risco inversamente correlacionados. Desta maneira, a taxa mais curta responde sempre de forma contrária aos movimentos da taxa mais longa, e vice-versa. Se a premissa de taxas *flat forwards* é

válida, então as taxas dos prazos intermediários se modificarão de acordo com a distância relativa entre os vértices. As mais próximas ao vértice inferior acompanharão o sentido da mudança da taxa desse vértice. As mais próximas ao outro responderão de forma inversa. À medida que o prazo se afasta de um vértice, a intensidade da mudança diminui até trocar de direção. É o efeito da correlação negativa. Haverá com certeza um prazo cuja taxa não se modificará. Títulos neste prazo terão risco zero. A Figura 4, a seguir, representa esta situação. A nova metodologia proposta descreve o exemplo, enquanto para a anterior o efeito da diversificação não é observado.

Figura 4: Valores em Risco Para Diferentes Prazos Vencimentos Entre os Vértices de 21 e 63 Dias Úteis, Calculados com Base nos Fatores de Risco dos Vértices e Correlação Igual a -1.



3. METODOLOGIA DE CÁLCULOS E AMOSTRA DE DADOS

Este trabalho parte da montagem de um banco de dados com taxas de juro e de cupons cambiais para o período de 02 de janeiro de 1998 a 25 de abril de 2000, num total de 571 dias úteis. As taxas observadas nos contratos de futuros de DI, taxas de *swaps* de DI/Pré e de dólar, divulgadas pela BM&F, foram convertidas em taxas contínuas diárias para os vértices de 21, 63, 126 e 252 dias úteis. A escolha dos vértices foi volitiva.

A premissa da existência de uma estrutura de taxas *flat forwards* é usada para se obter as taxas de juro e de cupom cambial para os vértices. Esse pressuposto reflete o procedimento usado por mesas de operações para avaliação de títulos. Entretanto, é importante notar que, se a premissa de *flat forwards* é válida para transformar as taxas observadas nos contratos futuros em taxas dos vértices através de interpolação linear, ela não será mais válida para transformar estas últimas em taxas de títulos com prazos entre

os vértices⁵. Este é o ponto fraco das duas metodologias. O conjunto das taxas de mercado deve ser usado para determinar o valor de mercado de qualquer título, enquanto o conjunto das taxas dos vértices deve ser usado apenas para o acompanhamento das volatilidades e correlações. No entanto, se as taxas diárias de juro são pequenas e não apresentam grandes diferenças para os diferentes prazos negociados, os erros cometidos serão pequenos quando se usa as taxas dos vértices, obtidas por interpolação, para marcação a mercado dos títulos.

Para análise dos valores em risco, VaR, usa-se a metodologia *EWMA*, com média igual a zero, sugerida pelo RiskMetrics™ (1996) para o cômputo das volatilidades e correlações. Os três primeiros meses dos dados na amostra são usados para calibragem dos parâmetros iniciais. Desta maneira, o período de análise fica reduzido a um total de 509 dias úteis⁶.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para analisar as diferenças entre os dois processos de mapeamento, o número de dias úteis entre vértices adjacentes foi dividido em cinco intervalos de prazos iguais. Para cada quintil, o prazo médio foi escolhido como seu dia representativo. Os dias úteis selecionados foram: 28, 35, 42, 49 e 56, para o primeiro intervalo entre vértices; 73, 84, 95, 105 e 116, para o segundo; e 147, 168, 189, 210 e 231, para o terceiro⁷.

A Tabela 1, a seguir, apresenta os percentuais alocados no vértice inferior de 63 dias, para análise, das taxas de juros e dos cupons cambiais, respectivamente. Os resultados para os demais intervalos de vértices serão discutidos e mostrados se apresentarem resultados diferentes. A escolha destes vértices deve-se ao fato de coincidir com um dos intervalos sugeridos na circular do Banco Central (2000b). Além disso, as conclusões apresentadas para este conjunto de vértices podem ser estendidas para os outros dois.

⁵ A simples tentativa de se obter as taxas originais negociadas no mercado partindo-se dos vértices conduzirá a valores diferentes das taxas originais observadas nos contratos negociados em mercado.

⁶ Lemgruber & Ohanian (1997) descrevem a metodologia e apresentam resultados para o mercado de juros e de câmbio brasileiro daquela época.

⁷ Quando a divisão conduzia a um resultado fracionado de dia este foi arredondado para o número inteiro mais próximo.

Tabela 1: Percentuais alocados ao vértice inferior de 63 dias úteis, para as duas metodologias de mapeamento sugeridas pelo RiskMetrics Group, "Nova" e "Original". Período de 01/04/98 a 25/04/00.

Fator de Risco: Taxa de Juro					
	73 dias úteis	84 dias úteis	95 dias úteis	105 dias úteis	116 dias úteis
Metodologia "Nova"					
	84,13%	66,67%	49,21%	33,33%	15,87%
Metodologia "Original"					
Média	79,77%	61,72%	44,90%	30,21%	14,47%
Desvio	7,49%	6,69%	5,87%	5,36%	5,27%
Mínimo	2,31%	1,82%	1,34%	0,90%	0,43%
Máximo	99,86%	99,70%	99,54%	99,40%	99,24%
Fator de Risco: Cupom Cambial					
	73 dias úteis	84 dias úteis	95 dias úteis	105 dias úteis	116 dias úteis
Metodologia "Nova"					
	84,13%	66,67%	49,21%	33,33%	15,87%
Metodologia "Original"					
Média	70,17%	57,58%	45,53%	34,51%	21,59%
Desvio	26,99%	25,02%	23,38%	22,07%	20,91%
Mínimo	0,15%	0,12%	0,08%	0,06%	0,03%
Máximo	99,91%	99,81%	99,71%	99,62%	99,52%

Para a nova metodologia proposta os percentuais de alocação são constantes, pois dependem apenas do prazo. Estes são sempre superiores às médias calculadas pela metodologia original⁸. As estatísticas indicam que a variação dos percentuais alocados cresce com a redução do prazo. Esse desvio é maior para os cupons cambiais. Mais ainda, as variações, para todos os dias escolhidos, em qualquer tipo de negócio, vão de valores próximos a zero a perto de 100%, o que mostra instabilidade no procedimento original, e confirma as "*surpresas*" citadas pelo RiskMetrics (1999)⁹.

A variabilidade dos percentuais alocados aos vértices, observada na tabela anterior, pode desorientar políticas de proteção ou, até, criar situações de quebras de limites se mudanças drásticas nestes percentuais ocorrerem com a virada do dia¹⁰. A Tabela 2 resume as estatísticas das variações nos percentuais alocados ao vértice inferior para cada dia representativo e seu dia útil seguinte. Ela reproduz o caso de uma carteira que não sofre modificações entre dois dias consecutivos de trabalho. Os valores positivos

⁸ Ver Figura 1.

⁹ As "*surpresas*" observadas para o comportamento da moeda australiana não são tão surpresas para o nosso mercado.

¹⁰ Isto pode acontecer em instituições que estabelecem limites para vértices.

das médias das variações indicam corretamente o aumento dos percentuais alocados ao vértice inferior. Apesar de as médias de variações serem menores, quando calculadas pela metodologia original, para quase todos os dias representativos elas apresentam altas variabilidades, que chegaram a casos extremos de quase -99%. Novamente, os desvios das variações foram maiores para negócios com cupons cambiais.

Tabela 2: Variações dos percentuais alocados ao vértice inferior de 63 dias úteis, resultantes do avanço de um dia de negócio, para as duas metodologias de mapeamento sugeridas pelo RiskMetrics Group, "Nova" e "Original". Período de 01/04/98 a 25/04/00.

Fator de Risco: Taxa de Juro					
	73 para 72 dias úteis	84 para 83 dias úteis	95 para 94 dias úteis	105 para 104 dias úteis	116 para 115 dias úteis
Metodologia "Nova"	1,59%	1,59%	1,59%	1,59%	1,59%
Metodologia "Original"					
Média	1,74%	1,57%	1,49%	1,45%	1,42%
Desvio	4,88%	4,91%	5,08%	5,34%	5,75%
Mínimo	-97,50%	-97,83%	-98,16%	-98,45%	-98,77%
Máximo	20,81%	31,63%	44,16%	54,45%	64,76%
Fator de Risco: Cupom Cambial					
	73 para 72 dias úteis	84 para 83 dias úteis	95 para 94 dias úteis	105 para 104 dias úteis	116 para 115 dias úteis
Metodologia "Nova"	1,59%	1,59%	1,59%	1,59%	1,59%
Metodologia "Original"					
Média	1,20%	1,10%	1,08%	1,11%	1,23%
Desvio	11,87%	11,41%	11,30%	11,37%	11,64%
Mínimo	-98,38%	-98,48%	98,57%	98,65%	98,74%
Máximo	91,09%	92,92%	94,70%	96,27%	97,95%

As Tabelas 3a e 3b fornecem as estatísticas sobre os resultados do cálculo do valor em risco, pelas duas metodologias, para pré-fixados com vencimentos nos dias úteis representativos, relativos aos fatores de risco taxas de juro e cupons cambiais. As volatilidades são apresentadas em números relativos ao montante do título marcado a mercado. As volatilidades e os coeficientes de correlações entre os vértices foram calculados pela metodologia de alisamento exponencial, *EWMA*, com fator de decaimento de 0,94. Apesar de as médias das diferenças e de as demais estatísticas serem muito parecidas, as médias observadas são significativamente diferentes. Os resultados foram semelhantes para os outros dois conjuntos de vértices. Os testes são conduzidos para avaliar posições compradas e vendidas de pré-fixados. Desta forma, os

riscos avaliados devem refletir mudanças nas taxas em ambas as direções e, por consequência, os testes são bicaudais.

Tabela 3a: Valor em risco (VaR) para os dias representativos. Fator de risco e taxa de juro, período de 01/04/98 a 25/04/00. Cálculo de volatilidades pelo EWMA com fator de decaimento de 0,94. Fator de segurança de 95% Bicaudal e *Holding Period* de um dia.

	73 dias úteis	84 dias úteis	95 dias úteis	105 dias úteis	116 dias úteis
Metodologia "Nova"					
Média	0,408%	0,451%	0,497%	0,539%	0,587%
Desvio	0,369%	0,398%	0,427%	0,454%	0,483%
Mínimo	0,041%	0,051%	0,062%	0,071%	0,082%
Máximo	1,702%	1,834%	1,968%	2,091%	2,225%
Metodologia "Original"					
Média	0,415%	0,461%	0,507%	0,548%	0,591%
Desvio	0,370%	0,400%	0,430%	0,456%	0,484%
Mínimo	0,043%	0,054%	0,064%	0,073%	0,083%
Máximo	1,715%	1,854%	1,989%	2,108%	2,235%
Diferenças no Cálculo do VaR					
Média	0,0071%	0,0103%	0,0103%	0,0082%	0,0045%
Erro padrão	0,0002%	0,0003%	0,0003%	0,0002%	0,0001%
t estatístico	37,67	35,93	34,59	33,64	32,80

Além disso, note que as médias dos valores em risco aumentam com o prazo para as taxas de juro. Para o caso dos cupons cambiais, Tabela 3b, o risco diminui com o aumento do prazo, sugerindo uma redução na volatilidade desses títulos com o aumento do prazo e, portanto um mercado de curto prazo mais nervoso.

Tabela 3b: Valor em risco (VaR) para os dias representativos. Fator de risco cupom cambial, período de 01/04/98 a 25/04/00. Cálculo de volatilidades pelo EWMA com fator de decaimento de 0,94. Fator de segurança de 95% Bicaudal e *Holding Period* de um dia.

	73 dias úteis	84 dias úteis	95 dias úteis	105 dias úteis	116 dias úteis
Metodologia "Nova"					
Média	1,297%	1,273%	1,256%	1,246%	1,241%
Desvio	1,040%	0,999%	0,961%	0,929%	0,897%
Mínimo	0,163%	0,171%	0,177%	0,187%	0,201%
Máximo	4,889%	4,715%	4,556%	4,427%	4,301%
Metodologia "Original"					
Média	1,310%	1,295%	1,280%	1,267%	1,253%
Desvio	1,043%	1,005%	0,968%	0,936%	0,901%
Mínimo	0,167%	0,189%	0,197%	0,203%	0,210%
Máximo	4,918%	4,763%	4,612%	4,477%	4,331%
Diferenças no Cálculo do VaR					
Média	0,0129%	0,0213%	0,0238%	0,0209%	0,0124%
Erro padrão	0,0006%	0,0010%	0,0012%	0,0011%	0,0006%
t estatístico	20,85	20,45	20,07	19,73	19,39

Variações do risco elevadas resultantes da passagem de um dia de trabalho podem complicar as políticas de limites e de proteção. As Tabelas 4a e 4b indicam as variações relativas de risco em relação ao dia representativo anterior. As médias são negativas no caso das taxas de juro, com era de se esperar. Surpreendentemente, para os cupons cambiais elas são positivas. A explicação está no fato da assimetria dos resultados. Veja que para os dois fatores de risco as medianas são negativas. Os valores dos máximos são tão grandes para os cupons cambiais que puxam as médias para valores positivos.

Tabela 4a: Variações relativas do VaR em relação ao dia anterior resultantes do avanço de um dia de negócio, para as duas metodologias do mapeamento. Fator de risco taxa de juro para o período de 01/04/98 a 25/04/00.

	73 para 72 dias úteis	84 para 83 dias úteis	95 para 94 dias úteis	105 para 104 dias úteis	116 para 115 dias úteis
Metodologia "Nova"					
Média	-0,8017%	-0,8683%	-0,8684%	-0,8405%	-0,7961%
Mediana	-3,4802%	-3,4397%	-3,3743%	-3,2794%	-3,2071%
Desvio	13,5210%	11,7392%	10,4820%	9,6958%	9,1114%
Mínimo	-5,0687%	-4,8382%	-4,5787%	-4,3699%	-4,2125%
Máximo	195,6747%	151,5979%	139,6583%	132,7987%	126,5736%
Metodologia "Original"					
Média	-0,9759%	-0,8914%	-0,8166%	-0,7559%	-0,6958%
Mediana	-3,5916%	-3,4036%	-3,2374%	-3,1557%	-3,0668%
Desvio	13,1615%	11,3989%	10,2510%	9,5555%	9,0504%
Mínimo	-5,0708%	-4,6775%	-4,4249%	-4,2561%	-4,1135%
Máximo	188,3124%	145,6720%	135,6861%	130,2099%	125,4329%

Tabela 4b: Variações relativas do VaR em relação ao dia anterior resultantes do avanço de um dia de negócio, para as duas metodologias do mapeamento. Fator de risco cupom cambial para o período de 01/04/98 a 25/04/00.

	73 para 72 dias úteis	84 para 83 dias úteis	95 para 94 dias úteis	105 para 104 dias úteis	116 para 115 dias úteis
Metodologia "Nova"					
Média	1,3612%	1,3518%	1,3079%	1,2239%	1,0880%
Mediana	-1,9885%	-2,0717%	-1,0840%	-2,1357%	-2,2007%
Desvio	29,9951%	31,4706%	32,0042%	31,3345%	29,3628%
Mínimo	-4,6776%	-4,0454%	-3,9886%	-3,6387%	-3,8855%
Máximo	657,7802%	686,9394%	692,8507%	671,1048%	618,2597%
Metodologia "Original"					
Média	1,1067%	1,1067%	1,1116%	1,1181%	1,1263%
Mediana	-2,1634%	-2,0392%	-2,0149%	-1,9662%	-2,0028%
Desvio	27,9418%	27,6354%	27,3850%	27,1888%	26,9939%
Mínimo	-4,1174%	-4,0013%	-3,9075%	-3,8366%	-3,7818%
Máximo	610,9716%	600,0924%	588,6067%	577,6019%	564,8324%

Kupiec (1995) sugere um teste de proporções de falhas para verificar a acurácia nos processos de cálculo de risco. O autor mostra que a proporção de falhas tem uma distribuição chi-quadrado, com 1 grau de liberdade, e estabelece limites inferiores e superiores para aceitação da modelagem, que dependem do total de observações incluídas na amostra e do nível de confiança desejado para os testes. As Tabelas 5a e 5b apresentam os resultados dos testes de acurácia para o período analisado e para os vértices em questão. Todos os testes foram aceitos para os cupons cambiais. No caso das taxas de juro, somente para os dias representativos mais próximos ao vértice superior, para ambas metodologias, pode-se rejeitar a modelagem com um grau de confiança de 95%. Para todos os outros dias representativos entre estes vértices as duas metodologias atuaram bem. Os resultados para os vértices mais curtos estão apresentados nas Tabelas 6a e 6b. As Tabelas 7a e 7b contêm os resultados para os vértices mais longos. Para as taxas de juro, os modelos tiveram ótimo desempenho para os vértices mais curtos. Ambos os modelos subestimaram os valores em risco para todos os dias entre os vértices mais longos. Para os cupons, cambiais, os resultados foram excelentes.

Tabela 5a: Percentuais de falhas e acurácia dos testes de valor em risco, para taxa de juro no período de 01/04/98 a 25/04/00 volatilidades e correções calculadas pelo EWMA, fator de decaimento de 0,94. Fator de confiança de 95%. Teste bicaudal, com limites de aceitação sugeridos por Kupiec (1995). Nível de confiança dos testes de 95%.

	<i>Back Test VaR Original</i>					<i>Back Test VaR Original</i>				
	73	84	95	105	116	73	84	95	105	116
	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis
Percentual de falhas	5,30%	5,70%	6,09%	7,27%	7,47%	5,89%	6,48%	6,88%	7,86%	7,66%
Limite inferior	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%
Limite superior	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%
Falhas esperadas	5,00%					5,00%				
Total de observações	509					509				

Tabela 5b: Percentuais de falhas e acurácia dos testes de valor em risco, para cupom cambial no período de 01/04/98 a 25/04/00 volatilidades e correções calculadas pelo EWMA, fator de decaimento de 0,94. Fator de confiança de 95%. Teste bicaudal, com limites de aceitação sugeridos por Kupiec (1995). Nível de confiança dos testes de 95%.

	<i>Back Test VaR Original</i>					<i>Back Test VaR Original</i>				
	73	84	95	105	116	73	84	95	105	116
	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis	dias úteis
Percentual de falhas	5,70%	5,30%	5,11%	4,91%	5,30%	6,09%	5,70%	5,30%	5,11%	5,30%
Limite inferior	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%
Limite superior	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%
Falhas esperadas	5,00%					5,00%				
Total de observações	509					509				

Tabela 6a: Percentuais de falhas e acurácia dos testes de valor em risco, para taxa de juro no período de 01/04/98 a 25/04/00 volatilidades e correções calculadas pelo EWMA, fator de decaimento de 0,94. Fator de confiança de 95%. Teste bicaudal, com limites de aceitação sugeridos por Kupiec (1995). Nível de confiança dos testes de 95%.

	<i>Back Test VaR Original</i>					<i>Back Test VaR Original</i>				
	28 dias úteis	35 dias úteis	42 dias úteis	49 dias úteis	56 dias úteis	28 dias úteis	35 dias úteis	42 dias úteis	49 dias úteis	56 dias úteis
Percentual de falhas	3,93%	4,52%	4,13%	4,32%	4,52%	4,72%	4,72%	4,52%	4,52%	4,91%
Limite inferior	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%
Limite superior	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%
Falhas esperadas	5,00%					5,00%				
Total de observações	509					509				

Tabela 6b: Percentuais de falhas e acurácia dos testes de valor em risco, para cupom cambial no período de 01/04/98 a 25/04/00 volatilidades e correções calculadas pelo EWMA, fator de decaimento de 0,94. Fator de confiança de 95%. Teste bicaudal, com limites de aceitação sugeridos por Kupiec (1995). Nível de confiança dos testes de 95%.

	<i>Back Test VaR Original</i>					<i>Back Test VaR Original</i>				
	28 dias úteis	35 dias úteis	42 dias úteis	49 dias úteis	56 dias úteis	28 dias úteis	35 dias úteis	42 dias úteis	49 dias úteis	56 dias úteis
Percentual de falhas	6,09%	5,50%	5,89%	5,89%	6,29%	6,29%	6,09%	5,89%	6,29%	6,29%
Limite inferior	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%
Limite superior	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%
Falhas esperadas	5,00%					5,00%				
Total de observações	509					509				

Tabela 7a: Percentuais de falhas e acurácia dos testes de valor em risco, para taxa de juro no período de 01/04/98 a 25/04/00 volatilidades e correções calculadas pelo EWMA, fator de decaimento de 0,94. Fator de confiança de 95%. Teste bicaudal, com limites de aceitação sugeridos por Kupiec (1995). Nível de confiança dos testes de 95%.

	<i>Back Test VaR Original</i>					<i>Back Test VaR Original</i>				
	147 dias úteis	168 dias úteis	189 dias úteis	210 dias úteis	231 dias úteis	147 dias úteis	168 dias úteis	189 dias úteis	210 dias úteis	231 dias úteis
Percentual de falhas	8,06%	8,25%	9,23%	9,82%	10,61%	8,25%	8,84%	9,43%	9,82%	10,61%
Limite inferior	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%
Limite superior	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%
Falhas esperadas	5,00%					5,00%				
Total de observações	509					509				

Tabela 7b: Percentuais de falhas e acurácia dos testes de valor em risco, para cupom cambial no período de 01/04/98 a 25/04/00 volatilidades e correções calculadas pelo EWMA, fator de decaimento de 0,94. Fator de confiança de 95%. Teste bicaudal, com limites de aceitação sugeridos por Kupiec (1995). Nível de confiança dos testes de 95%.

	<i>Back Test VaR Original</i>					<i>Back Test VaR Original</i>				
	147 dias úteis	168 dias úteis	189 dias úteis	210 dias úteis	231 dias úteis	147 dias úteis	168 dias úteis	189 dias úteis	210 dias úteis	231 dias úteis
Percentual de falhas	5,30%	5,89%	6,09%	6,09%	6,68%	5,30%	5,89%	6,29%	6,29%	6,88%
Limite inferior	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%	3,23%
Limite superior	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%
Falhas esperadas	5,00%					5,00%				
Total de observações	509					509				

O elevado nível de rejeição para as taxas de juro, para qualquer das duas metodologias, para alguns vértices, indica que os erros não podem ter sido causados pelos processos de alocação, mas sim por erros nas estimativas dos parâmetros do modelo de risco. Os resultados do *VaR* dependem principalmente do processo de estimativa das volatilidades e correlações, e do grau de confiança desejado para os resultados. A tabela que segue indica, para diferentes níveis de confiança do cálculo de risco, três fatores de decaimento, e todos os intervalos entre vértices analisados se os modelos subestimaram ou superestimaram o risco de mercado. Os resultados estão apresentados da seguinte maneira. Se o percentual de falhas encontra-se entre os limites de aceitação, ele é classificado como (OK). Se ele subestima o risco, isto é, um número maior de erros que o esperado é observado, ele é classificado como (+); no caso contrário, recebem a classificação (-). Para cada espaço entre vértices os resultados são somados por intervalo de classificação. Por exemplo, o resultado (5 OK) indica que os testes foram aceitos para os cinco prazos representativos entre os vértices. Um resultado [(3 OK) (2+)] indica que os resultados foram satisfatórios para três prazos, e subestimaram o risco em outros dois. A Tabela 8 resume os testes de acurácia.

A Tabela 8 mostra que os resultados para os dois modelos são muito semelhantes. Em apenas 20% dos casos eles não são exatamente os mesmos, mas os resultados são muito próximos. Em 17 das 54 combinações possíveis os testes para os dois modelos foram plenamente aceitos. Os níveis de rejeição foram mais acentuados para os testes com coeficientes de segurança elevados. Neste caso, para quase todas as possibilidades, tanto das taxas de juro quanto dos cupons cambiais, os modelos subestimaram o risco. A explicação pode estar na existência de caudas largas nas distribuições das taxas de juro e do cupom cambial. As distribuições de retornos observadas para os fatores de risco geralmente exibem desvios da distribuição normal, que é a premissa básica das metodologias do RiskMetrics™. Durante o período de análise, aconteceram duas crises de

mercado no Brasil, além do brusco e acelerado crescimento das volatilidades nos últimos dias incluídos na amostra¹¹. A crise de 1998 não causou grandes variações nos comportamentos das taxas, mas na de janeiro de 1999, quando a moeda foi desvalorizada, as taxas de juro e do cupom cambial mudaram de patamar. Os modelos *EWMA* respondem às mudanças mas precisam de um pequeno prazo para se adaptarem às novas condições de risco no mercado. Os dados dos cinco dias da semana de desvalorização do real foram retirados da amostra. A Tabela 8 apresenta os resultados dos testes de acurácia para o período de análise sem esta crise. Os resultados melhoram, mas muito pouco. As conclusões referentes à Tabela 8 podem ser mantidas.

Tabela 8: Resultados dos testes de acurácia dos valores em risco para os diferentes processos de alocação de vértices.
Amostra total

Fator de Decaimento	Espaço dos Vértices		Coeficiente de Segurança de 98% (Bicaudal)			
			Juros		Cupom	
			Original	Novo	Original	Novo
0,99	21	63	(5 +)	(5 +)	(3 OK) (2 +)	(1 OK) (4 +)
	63	126	(5 +)	(5 +)	(4 OK) (1 +)	(4 OK) (1 +)
	126	252	(5 +)	(5 +)	(3 OK) (2 +)	(3 OK) (2 +)
0,94	21	63	(2 OK) (3 +)	(5 +)	(5 +)	(5 +)
	63	126	(1 OK) (4 +)	(5 +)	(5 +)	(5 +)
	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 +)	(5 +)
0,89	21	63	(5 +)	(5 +)	(5 +)	(5 +)
	63	126	(5 +)	(5 +)	(5 +)	(5 +)
	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 +)	(5 +)

Fator de Decaimento	Espaço dos Vértices		Coeficiente de Segurança de 95% (Bicaudal)			
			Juros		Cupom	
			Original	Novo	Original	Novo
0,99	21	63	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)
	63	126	(3 OK) (2 +)	(1 OK) (4 +)	(5 OK)	(5 OK)
	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 OK)	(5 OK)
0,94	21	63	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)
	63	126	(3 OK) (2 +)	(3 OK) (2 +)	(5 OK)	(5 OK)
	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 OK)	(5 OK)
0,89	21	63	(5 +)	(3 OK) (2 +)	(5 OK)	(4 OK) (1 +)
	63	126	(1 OK) (4 +)	(5 +)	(5 OK)	(5 OK)
	126	252	(5 +)	(5 +)	(3 OK) (2 +)	(2 OK) (3 +)

¹¹ A última semana de abril de 2000 apresenta variações das taxas de juro muito grandes quando comparadas com as das semanas anteriores.

Fator de Decaimento	Espaço dos Vértices		Coeficiente de Segurança de 90% (Bicaudal)			
			Juros		Cupom	
			Original	Novo	Original	Novo
0,99	Inferior	Superior				
	21	63	(5 -)	(5 -)	(5 -)	(4 OK) (1 -)
	63	126	(4 OK) (1 -)	(4 OK) (1 -)	(5 -)	(5 -)
0,94	126	252	(3 OK) (2 +)	(2 OK) (3 +)	(5 -)	(1 OK) (4 -)
	21	63	(5 -)	(5 -)	(5 OK)	(5 OK)
	63	126	(3 OK) (2 +)	(3 OK) (2 +)	(5 OK)	(5 OK)
0,89	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 OK)	(5 OK)
	21	63	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)
	63	126	(4 OK) (1 +)	(4 OK) (1 +)	(5 OK)	(5 OK)
	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 OK)	(5 OK)

OBS.: O resultado OK indica que o teste foi aceito. O sinal + indica que o VaR foi subestimado e o total de falhas superou o VaR. o resultado - indica que o VaR foi superestimado e o total de falhas foi inferior ao mínimo esperado. Os valores indicam os totais de cada resultado.

Tabela 9: Resultados dos testes de acurácia dos valores em risco para os diferentes processos de alocação de vértices. Semana de 13 de janeiro de 1999. Excluída.

Fator de Decaimento	Espaço dos Vértices		Coeficiente de Segurança de 98% (Bicaudal)			
			Juros		Cupom	
			Original	Novo	Original	Novo
0,99	Inferior	Superior				
	21	63	(5 OK)	(5 OK)	(4 OK) (1 +)	(4 OK) (1 +)
	63	126	(5 +)	(5 +)	(5 OK)	(5 OK)
0,94	126	252	(5 +)	(5 +)	(4 OK) (1 +)	(4 OK) (1 +)
	21	63	(5 OK)	(5 OK)	(3 OK) (2 +)	(5 +)
	63	126	(1 OK) (4 +)	(1 OK) (4 +)	(5 +)	(5 +)
0,89	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 +)	(5 +)
	21	63	(1 OK) (4 +)	(5 +)	(5 +)	(5 +)
	63	126	(5 +)	(5 +)	(5 +)	(5 +)
	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 +)	(5 +)

Fator de Decaimento	Espaço dos Vértices		Coeficiente de Segurança de 95% (Bicaudal)			
			Juros		Cupom	
			Original	Novo	Original	Novo
0,99	Inferior	Superior				
	21	63	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)
	63	126	(5 OK)	(4 OK) (1 +)	(5 OK)	(5 OK)
0,94	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 OK)	(5 OK)
	21	63	(3 OK) (2 -)	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)
	63	126	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)
0,89	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 OK)	(5 OK)
	21	63	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)
	63	126	(2 OK) (3 +)	(2 OK) (3 +)	(5 OK)	(5 OK)
	126	252	(5 +)	(5 +)	(3 OK) (2 +)	(3 OK) (2 +)

Fator de Decaimento	Espaço dos Vértices		Coeficiente de Segurança de 90% (Bicaudal)			
			Juros		Cupom	
			Original	Novo	Original	Novo
0,99	Inferior	Superior				
	21	63	(5 -)	(5 -)	(5 -)	(1 OK) (4 -)
	63	126	(3 OK) (2 -)	(4 OK) (1 -)	(5 -)	(5 -)
0,94	126	252	(4 OK) (1 +)	(4 OK) (1 +)	(5 -)	(5 -)
	21	63	(5 -)	(5 -)	(5 OK)	(5 OK)
	63	126	(4 OK) (1 -)	(4 OK) (1 -)	(3 OK) (2 -)	(5 OK)
0,89	126	252	(3 OK) (2 +)	(2 OK) (3 +)	(5 OK)	(5 OK)
	21	63	(2 OK) (3 -)	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)
	63	126	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)	(5 OK)
	126	252	(5 +)	(5 +)	(5 OK)	(5 OK)

OBS.: O resultado OK indica que o teste foi aceito. O sinal + indica que o VaR foi subestimado e o total de falhas superou o VaR. o resultado - indica que o VaR foi superestimado e o total de falhas foi inferior ao mínimo esperado. Os valores indicam os totais de cada resultado.

5. CONCLUSÕES

O acompanhamento do risco de mercado para as carteiras de negócios vem crescendo em importância entre as instituições financeiras braseiras. Limites de posições e estratégias de proteção são estabelecidos com base nas análises de risco das carteiras. Diversos bancos adotaram a metodologia de cálculo sugerida pelo RiskMetrics™ para o cálculo do valor em risco. Recentemente, o RiskMetrics Group indicou uma aperfeiçoamento no processo de mapeamento dos fluxos de caixa.

Este trabalho compara as duas metodologias. Ele indica as situações em que elas conduzem a percentuais diferentes de alocação dos fluxos de caixa. As diferenças conceituais existentes entre o processo original e o novo podem estabelecer valores de risco diferentes, dependendo do comportamento dos fatores de risco observados no mercado. A análise do mercado brasileiro de juros e de cupons cambiais nestes últimos dois anos indica que as duas metodologias se comportam de forma muito parecida.

Para o período de análise e para todos os vértices foram realizados testes de acurácia para os cálculos de risco de mercado. Os resultados são semelhantes para as duas metodologias. Os testes acusam que as estimativas dos parâmetros de volatilidade e as premissas de normalidade das distribuições das taxas de juro são as principais responsáveis pelas falhas de avaliação.

REFERENCIAS

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Nota Técnica sobre a Circular n.º 2.972, de 23 de março de 2000**. Disponível em: <www.bcb.gov.br/htms/normativ.shtm>. Acesso em: 2000. (2000a)

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Circular n.º 2.972: SISBACEN 07204/0001**. (2000b).

JORION, P. **Value at risk: the new benchmark for controlling market risk**. Homewood: Irwin Professional, 1977.

KUPIEC, P, H. Techniques for verifying the accuracy of risk management models. **The Journal of Derivatives**, v. 3, n. 2, 1995.

LEMGRUBER, E. F.; OHANIAN, G. O modelo de projeção de volatilidade do RiskMetrics™ e a hipótese de distribuição normal condicional para alguns fatores de risco do Brasil. In: ENCONTRO ANUAL da ANAPD, 21., 1997, Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro : ANPAD, 1997.

RISKMETRICS™. **Technical Document**. 4. ed. [S. l.]: Reuters: J. P. Morgan, 1996.

RISKMETRICS GROUP. Improved cashflow map. Disponível em: <www.riskmetrics.com/research/working/index.cgi>. Acesso em abr. 1999.