

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Marcelo Weiskopf

Imunização de Carteiras de Renda Fixa

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Tara Keshar Nanda Baidya

Rio de Janeiro, 28 de Março de 2003

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Marcelo Weiskopf

Imunização de Carteiras de Renda Fixa

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Tara Keshar Nanda Baidya

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

José Paulo Teixeira

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Paulo Henrique Soto Costa

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Ney Dumont

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de Março de 2003

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Marcelo Weiskopf

Graduou-se em Engenharia de Produção pela PUC-Rio em 1999. Kursou Pós-graduação em Mercado de Capitais na FGV-Rio. Participou, com publicações, de congressos e seminários nas áreas de formação.

Ficha Catalográfica

Weiskopf, Marcelo

Imunização de carteiras de renda fixa / Marcelo Weiskopf; orientador: Tara Keshar Nanda Baidya. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2003.

[15], 192 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia industrial – Teses. 2. ALM. 3. Imunização. 4. Risco de taxa de juros. 5. Duração. 6. Análise de componentes principais. 7. Variações não-paralelas na curva de juros. I. Baidya, Tara Keshar Nanda. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

À minha família

Agradecimentos

À toda minha família pelo apoio e incentivo.

À Daniela Treger pelo carinho, apoio, paciência e amor.

Ao Professor Tara Keshar Nanda Baydia, pela orientação;

A CAPES pelo auxílio financeiro;

A Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, pela formação proporcionada no mestrado;

Ao professores do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio;

Aos professores examinadores, por aceitarem o convite e colaborar para a validação deste trabalho;

À equipe de análise de risco da Mellon Brascan, principalmente a Delano Franco e Rita Ferreira;

A Petros, em especial a Frederico Sampaio;

Aos Funcionários do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio;

Aos meus amigos Serjão, Marinho, Sawaki e Dudu, pela amizade, apoio e companheirismo;

Ao meu amigo Michael Benitah por todo suporte e críticas indispensáveis para a realização deste trabalho;

Aos colegas do mestrado, pelo companheirismo e bons momentos juntos, sejam eles de estudo ou de descontração;

Resumo

Weiskopf, Marcelo; Baidya, Tara Keshar Nanda. *ALM – Imunização de Carteiras de Renda Fixa*. Rio de Janeiro, 2003. 207p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O *Asset Liability Management (ALM)* é uma ferramenta essencial para uma administração eficaz de bancos, seguradoras e fundos de pensão, principalmente no que diz respeito ao monitoramento e controle de riscos enfrentados por estas instituições. Dentre estes riscos, o de taxa de juros é uma das principais fontes de perda potencial para uma instituição financeira. Este trabalho tem como objetivo estudar formas de se controlar este tipo de risco. Para tal, será estudada a fundo a estratégia de imunização de carteiras. Esta estratégia consiste em montar uma carteira ótima de forma que a mesma seja imune a variações na taxa de juros, ou seja, independente das variações que ocorram nas taxas de juros, o valor da carteira não se altere. Dois modelos de imunização de carteiras de renda fixa propostos na literatura são estudados detalhadamente. Um utiliza a técnica de análise de componentes principais (ACP), imunizando a carteira na direção destes componentes. O outro modelo usa um método de minimização do risco estocástico. Em ambos, um exemplo ilustrativo é apresentado e uma aplicação prática é feita utilizando-se dados de um fundo de pensão no Brasil (este tipo de estratégia é de extremo interesse para fundos de pensão, que possuem longos fluxos de passivos e que desejam garantir que suas obrigações sejam sempre satisfeitas). Por fim, é feita uma análise dos resultados obtidos após a imunização.

Palavras-Chave

ALM, imunização, risco de taxa de juros, duração, análise de componentes principais, variações não-paralelas na curva de juros.

Abstract

Weiskopf, Marcelo; Baidya, Tara Keshar Nanda. *ALM – Immunization of Fixed Income Portfolios*. Rio de Janeiro, 2003. 207p. M.Sc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Asset Liability Management (ALM) is an important tool used in the administration of banks, insurance companies and pension funds, especially for monitoring and controlling the risk those institutions usually face. Among the various types of risk, the interest rate risk is one of the main sources of potential loss for a financial institution. This dissertation aims to study ways of controlling this type of risk. Thus, we will thoroughly study the strategy used for Asset Liability Management. This strategy consists in assembling an optimum portfolio in a way that it becomes unaffected by changes in the interest rates. A couple of immunization models for fixed rate portfolios are studied in detail. One of them employs the method of principal component analysis (PCA), immunizing the portfolio in the direction of those components. The other model minimizes the stochastic risk. In both of them, we present an example and use of the method in a Brazilian pension fund (this strategy is highly interesting to pension funds since they work with a long liability cash flow and want to certify their obligations will always be satisfied). Finally, we analyse the results obtained with the two methods.

Keywords

ALM, immunization, interest-risk rate, duration, principal component analysis, non-parallel yield curve shifts.

Sumário

1	Introdução	16
2	ALM	20
2.1.	Definição do tipo de estratégia de ALM	22
2.2.	Implementação da tecnologia ALM	23
2.3.	Modelos e estratégias de ALM	24
2.3.1.	Modelos <i>Gap</i>	25
2.3.2.	Simulação	26
2.4.	Gerenciamento de Risco	27
2.4.1.	Tipos de riscos	28
2.5.	Assuntos relevantes ao ALM	30
2.5.1.	Liquidez	30
2.5.2.	Securitização	31
3	Teoria de imunização	33
3.1.	A estratégia de imunização	34
3.2.	Imunização de um único passivo	37
3.2.1.	Exemplo	38
3.2.2.	Condições para imunização de um único passivo	39
3.3.	Imunização de múltiplos passivos (teoria de imunização de Redington)	43
3.3.1.	Condições para imunização (caso exatamente fundado)	45
3.3.2.	Risco de imunização (M -quadrado)	46
3.3.3.	Condições para imunização (caso totalmente com fundos)	48
3.3.4.	Observações	49
3.4.	Generalização da teoria de Redington	49
3.4.1.	Teorema do resíduo de Taylor	50
3.4.2.	Teorema geral do valor médio para integrais	51
3.5.	Rebalanceando uma carteira imunizada	53
3.6.	Considerações de implementação	54
3.7.	Imunização contingencial	55

3.8. Implementação da técnica de imunização (modelos de otimização)	57
3.9. Risco de taxa de juros	62
3.10. Outras formas de combinação de fluxos	64
3.10.1. Portfólios de dedicação	64
3.10.2. Portfólio de dedicação versus imunização	67
3.10.3. Combinação de duração e combinação de fluxos	68
3.11. As limitações do modelo tradicional	68
3.12. Outros modelos de duração	69
4 Imunização utilizando análise de componentes principais	70
4.1. O modelo de imunização utilizando-se ACP	70
4.1.1. Modelo de direção única	70
4.1.2. Modelo de múltiplas direções	72
4.2. Análise de Componentes Principais (ACP)	74
5 Exemplo de imunização utilizando o modelo de ACP	80
5.1. Análise de componentes principais da estrutura a termo	80
5.2. Imunizando em uma única direção	83
5.3. Imunizando em múltiplas direções	87
5.4. Imunizando em uma única direção utilizando títulos com cupom	90
5.5. Comentários	93
6 Modelo de imunização estocástica	95
6.1. Análise de duração multivariada	96
6.1.1. O modelo tradicional (de uma variável) e suas limitações	96
6.1.2. Modelos multivariados	99
6.1.3. Duração e convexidade direcional	99
6.1.4. Duração e convexidade parcial	103
6.1.5. Estimção prática da duração e convexidade parcial	105
6.2. Teoria de imunização multivariada	106
6.2.1. Definições de imunização multivariada	107
6.2.2. Imunização direcional	109
6.2.3. Imunização não direcional	113
6.3. Teoria de imunização estocástica multivariada	115

6.3.1. O modelo da curva de juros	115
6.3.2. Imunização estocástica com muitos ativos	117
6.3.3. Imunização estocástica com poucos ativos	128
6.3.4. Resolução do problema geral de minimização com restrição	132
6.4. Relações e propriedades da duração e convexidade	132
6.4.1. Propriedade 1	132
6.4.2. Propriedade 2	133
6.4.3. Propriedade 3	133
6.4.4. Propriedade 4	134
6.4.5. Propriedade 5	134
6.4.6. Propriedade 6	134
6.4.7. Propriedade 7	134
6.4.8. Propriedade 8	135
6.4.9. Propriedade 9	135
6.4.10. Propriedade 10	136
6.4.11. Propriedade 11	136
6.4.12. Propriedade 12	136
6.4.13. Propriedade 13	137
6.4.14. Propriedade 14	137
6.4.15. Propriedade 15	137
6.4.16. Propriedade 16	137
6.4.17. Propriedade 17	138
7 Imunização utilizando o modelo de imunização estocástica	139
7.1. Resumo do modelo	139
7.2. Exemplo	141
7.2.1. Dados iniciais	142
7.2.2. Minimizando com restrição de duração	144
7.2.3. Minimizando com restrição de duração possível de ser atingida	146
7.3. Comparação entre as estratégias de imunização	150
7.4. Comentários	151
8 Aplicação na pratica dos modelos apresentados	153
8.1. Dados iniciais	153

8.1.1. Seleção da curva a ser utilizada	154
8.1.2. Seleção de ativos	155
8.2. Modelo de imunização utilizando ACP	156
8.2.1. Passos do modelo	156
8.2.2. Reuters 3	156
8.2.3. Reuters 5	157
8.2.4. BMF 7	158
8.2.5. Comparação entre Reuters 5 e BMF 7	159
8.3. Modelo de imunização estocástica multivariada	159
8.3.1. Passos do modelo	160
8.3.2. Reuters 3	160
8.3.3. Reuters 5	161
8.3.4. BMF 7	162
9 Conclusões	163
10 Referências Bibliográficas	166
11 Apêndice A	170
11.1. Estrutura a termo e risco de taxa de juros	170
11.1.1. Tipos de variações na estrutura a termo	171
11.1.2. Métodos de interpolação da curva de juros	172
11.2. Medidas de risco de taxa de juros	172
11.2.1. Data de vencimento	172
11.2.2. Conceitos básicos sobre duração	173
11.2.3. Relação entre duração e a sensibilidade do preço	174
11.2.4. Conceitos básicos sobre convexidade	175
11.2.5. Duração e convexidade de um portfólio	176
11.2.6. Limitações da duração	178
11.2.7. Duração e convexidade de Fisher-Weil	178
11.2.8. Outros tipo de duração	180
11.3. Propriedade dos vetores e matrizes	182
11.3.1. Ortogonalidade	182
11.3.2. Propriedades do produto escalar	182

11.3.3. Normalização de um vetor	183
11.3.4. Cálculo da variância	183
11.3.5. Matriz positiva definida	184
11.4. Títulos do Governo	185
11.4.1. Títulos pós-fixados	185
12 Apêndice B	188

Lista de Ilustrações

Ilustração 2.1: Evolução dos modelos de otimização financeira (Zeimba, 2001).	21
Ilustração 2.2: Modelo <i>Gap</i> (Bessis, 2002).	31
Ilustração 3.1: Relação Preço-Yield	40
Ilustração 3.2: Variação do valor de uma carteira quando a taxa muda	41
Ilustração 3.3: Curva de Gatilho para imunização contingencial	56
Ilustração 3.4: Curva de Gatilho para imunização contingencial	56
Ilustração 5.1: Gráfico dos 3 primeiros componentes	83
Ilustração 5.2: Comparação entre as diferentes estratégias de imunização	94
Ilustração 7.1: Fluxo de caixa da carteira inicial	142
Ilustração 7.2: Evolução gráfica das carteiras imunizadas e não imunizadas	152
Ilustração 8.1: Fluxo de passivo da Petros	154
Ilustração 11.1: Evolução da estrutura a termo das taxas de juros brasileiras	170

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Tipos de fluxo de caixa (Fabozzi, 2000).	22
Tabela 3.1: Exemplo de imunização de um <i>GIC</i>	38
Tabela 3.2: Duração de diferentes títulos candidatos a imunizar um <i>GIC</i>	39
Tabela 3.3: Exemplo de um fluxo para aplicação da técnica de carteira dedicada	65
Tabela 3.4: Ativos disponíveis para aplicação da técnica de carteira dedicada	65
Tabela 5.1: Matriz de autovalores (ACP da curva de juros brasileira).....	81
Tabela 5.2: Matriz de autovetores (ACP da curva de juros brasileira).....	81
Tabela 5.3: Componentes principais (curva de juros brasileira)	82
Tabela 5.4: Fluxo de passivo ao ser imunizado utilizando a ACP	84
Tabela 5.5: Valor presente do fluxo a ser imunizado utilizando a ACP	84
Tabela 5.6: Vencimento dos ativos que irão imunizar o fluxo de passivo	85
Tabela 5.7: Resultado do modelo utilizando a ACP (única direção).....	86
Tabela 5.8: Evolução da carteira imunizada pela técnica de ACP	86
Tabela 5.9: Fluxo de passivo ao ser imunizado utilizando a ACP	87
Tabela 5.10: Valor presente do fluxo a ser imunizado utilizando a ACP	87
Tabela 5.11: Ativos selecionados para imunizar o fluxo.....	88
Tabela 5.12: Resultado do modelo de imunização com ACP	89
Tabela 5.13: Evolução da carteira após imunização - ACP (múltiplas direções)	90
Tabela 5.14: Seleção de ativos com cupom para a imunização utilizando ACP...	91
Tabela 5.15: Resposta do modelo de imunização.....	92
Tabela 5.16: Evolução da carteira imunizada com ativos com cupom	93
Tabela 7.1: Estrutura a termo da curva de juros brasileira (4 vértices).....	142
Tabela 7.2: Fluxo de ativos a ser imunizado	142
Tabela 7.3: Fluxo de passivo a ser imunizado.....	142
Tabela 7.4: Características da carteira inicial que será imunizada.....	143
Tabela 7.5: Valor esperado da variação da taxa de juros em cada vértice	143
Tabela 7.6: Matriz de covariâncias das variações nos vértices da curva de juros	143
Tabela 7.7: Vetor de duração da carteira inicial.....	144
Tabela 7.8: Ativos selecionados para imunizar a carteira inicial	146
Tabela 7.9: Duração dos ativos selecionados para imunizar a carteira inicial	146
Tabela 7.10: Carteira imunizada com dois ativos (Ativo).....	148

Tabela 7.11: Carteira imunizada com dois ativos (Passivo).....	149
Tabela 7.12: Vetor de duração da carteira imunizada	149
Tabela 7.13: Matriz de diferença de durações.....	149
Tabela 7.14: Evolução das carteiras com e sem imunização.....	151
Tabela 8.1: Ativos utilizados na aplicação de imunização	155
Tabela 8.2: ACP da curva Reuters 3	156
Tabela 8.3: Características do fluxo de passivo da Petros.....	156
Tabela 8.4: Resultado da aplicação do modelo de direção única	157
Tabela 8.5: Resultado da aplicação do modelo de variações paralelas	157
Tabela 8.6: ACP da curva Reuters 5	157
Tabela 8.7: Características do fluxo de passivo da Petros.....	158
Tabela 8.8: Resultado da aplicação do modelo de múltiplas direções	158
Tabela 8.9: ACP da curva BM&F 7	158
Tabela 8.10: Características do fluxo de passivo da Petros.....	158
Tabela 8.11: Resultado da aplicação do modelo de múltiplas direções	159
Tabela 8.12: Características da carteira inicial.....	160
Tabela 8.13: Vator de duração da carteira inicial.....	160
Tabela 8.14: Vetor de duração resultado da aplicação do modelo	160
Tabela 8.15: Característica da carteira inicial	161
Tabela 8.16: Vetor de duração da carteira inicial.....	161
Tabela 8.17: Resposta do modelo.....	161
Tabela 8.18: Vetor de duração resultado da aplicação do modelo	161
Tabela 8.19: Característica da carteira inicial	162
Tabela 8.20: Vetor de duração da carteira inicial.....	162
Tabela 8.21: Resposta do modelo.....	162
Tabela 8.22: Vetor de duração resultado da aplicação do modelo	162
Tabela 11.1: Vencimentos das NTN-C.....	186
Tabela 11.2: Características das NTN-C	187