



Reinaldo Antônio Gomes Marques

**Filtro de Kalman restrito na análise de
estilo semi-forte de fundos atuariais**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Atuariais do Instituto de Gestão de Riscos Financeiros e Atuariais da PUC-Rio.

Orientadores: Luciano Vereda Oliveira
Adrian Heringer Pizzinga

Rio de Janeiro, março de 2009



Reinaldo Antônio Gomes Marques

**Filtro de Kalman restrito na análise de
estilo semi-forte de fundos atuariais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Atuariais do Instituto de Gestão de Riscos Financeiros e Atuariais da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Luciano Vereda Oliveira

Orientador

Instituto de Gestão de Riscos Financeiros e Atuariais - PUC-Rio

Prof. Adrian Heringer Pizzinga

Co-orientador

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Cristiano Augusto Coelho Fernandes

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Rodrigo Simões Atherino

JGP Investimentos

Prof. João Nizar Messari

Coordenador(a) Setorial do Centro de Ciências Sociais - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 19 de março de 2009

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

Reinaldo Antônio Gomes Marques

Graduou-se Bacharel em Ciências Atuariais pela Universidade Federal de Minas Gerais em 2007.

Ficha Catalográfica

Marques, Reinaldo Antônio Gomes

Filtro de Kalman restrito na análise de estilo semi-forte de fundos atuariais / Reinaldo Antônio Gomes Marques; orientador: Luciano Vereda; co-orientador: Adrian Pizzinga – 2009.

74 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Gestão de Riscos Financeiros e Atuariais)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Gestão de Riscos Financeiros e Atuariais - Teses. 2. Análise dinâmica de estilo. 3. Empresa seguradora. 4. Filtro de Kalman. 5. Inicialização exata. 6. Fundo atuarial. 7. Modelo em espaço de estado. 8. Regressão móvel. I. Pizzinga, Adrian. II. Vereda, Luciano. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Instituto de Gestão de Riscos Financeiros e Atuariais. IV. Título.

CDD: 368.01

À minha família, a Sylvia, Leonardo e o Rafael.

Agradecimentos

À Deus pela vida, pela saúde e por me dar diversas oportunidades de crescimento.

Ao professor Renato Martins Assunção pelas diversas orientações que ultrapassam o mundo acadêmico. Agradeço também por acreditar e incentivar a pós-graduação em atuária no país.

Ao Instituto de Riscos Financeiros e Atuariais pela iniciativa em promover a pós-graduação em atuária e apoio institucional e financeiro para apresentação e participação em congressos. Agradeço os coordenadores Cristiano Fernandes e Fernanda Chaves.

Agradeço também ao Professor Luiz Roberto Cunha por facilitar o acesso à base de dados, acreditar na importância da disciplina de Probabilidade no ano de 2007 e pela dedicação e esforço em arquitetar um centro de pesquisa em atuária no Brasil.

À Sylvia pelo incentivo, motivação, carinho e pela sua grande sabedoria e força em lidar com minhas ausências. Agradeço também sua família que sempre me apoiou especialmente a Vera, o Nilton e a tia Sônia.

À minha família que sempre me acompanhou em todas as etapas importantes da minha vida. Agradeço muito os meus queridos irmãos e meus pais.

Ao Leonardo pela grande amizade desde graduação, pelo ensino computacional, pelo companheirismo e pela imensa força durante esses dois anos no Rio.

Aos professores da UFMG que se esforçam para oferecer com qualidade o curso de atuária.

Aos meus orientadores que permitiram dividir o conhecimento. Agradeço ao Professor Adrian pela amizade, pelo convite ao tema, pelas diversas ajudas extra-classe e pela disponibilidade e empenho em lecionar de maneira grandiosa três disciplinas importantes que foram decisivas para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Rodrigo Atherino pela amizade e pelas oportunidades que me ajudaram ter uma condição mais favorável no Rio de Janeiro. Agradeço por acreditar no meu trabalho.

Aos alunos e funcionários do IAPUC. Agradeço à Máris pelo exercício da paciência. Agradeço à Bruna e o Eduardo por toda força e ajuda durante o mestrado. À Luciene por todas as ajudas burocráticas.

À CAPES, à FUNENSEG e à seguradora Icatu-Hartford pelo suporte financeiro.

Resumo

Marques Gomes, Reinaldo Antônio; Pizzinga, Adrian; Vereda, Luciano. **Filtro de Kalman restrito na análise de estilo semi-forte de fundos atuariais.** Rio de Janeiro, 2009. 74p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Gestão de Riscos Financeiros e Atuariais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nesse trabalho, são estudados os fundos atuariais brasileiros do tipo IGP-M, com histórico de quotas disponível de janeiro de 2004 a agosto de 2008, mediante análises dinâmicas de estilo. O objetivo central é o de gerar informações para que empresas seguradoras possam melhor diversificar seus investimentos para *hedge* de seus passivos atuariais. A plataforma metodológica baseia-se: (1) na construção e justificativa de índices de classes de ativos apropriados para os fundos em análise; e (2) na abordagem de espaço de estado linear com restrições e sob a implementação do filtro de Kalman com inicialização exata. As principais conclusões advindas dos resultados empíricos são: (1) o uso de inicializações exatas do filtro de Kalman promove maior estabilidade numérica; (2) estruturas muito parcimoniosas são suficientes para descrever o estilo dinâmico dos fundos atuariais brasileiros; e (3) os gestores dos fundos analisados optaram, no período estudado, por alocar seus recursos principalmente em títulos indexados ao IGP-M e títulos pré e pós-fixados, sempre sob influência do desempenho do mercado financeiro e das expectativas futuras do cenário econômico, principalmente quanto à magnitude da taxa básica de juros brasileira.

Palavras-chave

análise dinâmica de estilo; empresa seguradora, filtro de Kalman; fundo atuarial; inicialização exata; modelo em espaço de estado; regressão móvel.

Abstract

Marques Gomes, Reinaldo Antônio; Pizzinga, Adrian; Vereda, Luciano. **Restricted Kalman filtering in semi-strong dynamic style analysis of actuarial investment funds.** Rio de Janeiro, 2009. 74p. Msc. Dissertation - Instituto de Gestão de Riscos Financeiros e Atuariais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work studies Brazilian inflation indexed actuarial funds in the period ranging from January 2004 to August 2008. The focus is towards a dynamic style analysis framework, which aims at generating relevant information that would be helpful to insurance companies in deciding how better to make hedge strategies for their actuarial liabilities. The methodology is based: (1) on the construction and justification of appropriate asset class indexes for the aforementioned type of fund; and (2) on the linear state space modeling under restrictions, under the Kalman filtering techniques with exact initializations. The main conclusions taken from the empirical results are: (1) the use of exact initializations of the the Kalman recursions proves to be numerically more stable; (2) quite parsimonious models are sufficient to describe the dynamic styles of Brazilian actuarial funds; and (3) the managers of the analyzed funds have chosen, in the considered period, to allocate their assets mainly in conventional, interest-rate and inflation-indexed bonds, but adjusting their exposures to macroeconomic and financial developments, in general, and to monetary policy decisions, in particular.

Keywords

actuarial fund; dynamic style analysis; exact initialization; insurance company; Kalman filter; rolling regression; space state model.

Sumário

1 Introdução	14
1.1. Motivação	14
1.2. Objetivos da Dissertação	16
1.3. Organização do texto	17
2 Análise de estilo: revisão da literatura	19
3 Modelos em espaço de estado e o filtro de Kalman	25
3.1. O modelo em espaço de estado linear	25
3.2. O filtro de Kalman	26
3.3. Imposição de restrições no filtro de Kalman	27
3.4. Inicialização do filtro de Kalman	29
3.5. Estimação de parâmetros por (quasi) máxima verossimilhança	32
3.6. Diagnósticos e seleção de modelos	33
4 Modelo de fatores para classes de ativos	36
4.1. Análise de estilo baseado no retorno: versão original (estática)	36
4.2. Análise de estilo baseada no retorno: versão dinâmica via modelagem espaço de estado	38
4.2.1. Análise dinâmica de estilo fraca	38
4.2.2. Análise dinâmica de estilo semi-forte	39
5 Aplicações	42
5.1. Os dados	42
5.2. Ambiente computacional	47
5.3. Seleção das classes de ativos via regressão móvel	47
5.4. Resultados via modelo em espaço de estado	49
5.4.1. Modelagem completa: fundo Caixa Patrimônio	49
5.4.2. Modelagem final e interpretações sobre as alocações para os fundos restantes	53

6 Conclusões	69
7 Referências bibliográficas	71

Lista de figuras

Figura 1. Evolução das provisões de seguradoras, previdência complementar aberta e capitalização. Fonte: SUSEP.	15
Figura 2. Exposições suavizadas do modelo inicial para o Caixa Patrimônio com os respectivos intervalos de 95% de confiança.	51
Figura 3. Diagnósticos gráficos sobre as inovações padronizadas do modelo inicial para o Caixa Patrimônio.	51
Figura 4. Exposições suavizadas do modelo final para o Caixa Patrimônio com os respectivos intervalos de 95% de confiança.	52
Figura 5. Diagnósticos gráficos sobre as inovações padronizadas do modelo final para o Caixa Patrimônio.	53
Figura 6. Exposições suavizadas para o BB Fachesf Atuarial com os respectivos intervalos de 95% de confiança.	55
Figura 7. Diagnósticos gráficos sobre as inovações padronizadas do modelo final para o BB Fachesf Atuarial.	56
Figura 8. Exposições suavizadas para o Caixa Capital com os respectivos intervalos de 95% de confiança.	57
Figura 9. Diagnósticos gráficos sobre as inovações padronizadas do modelo final para o Caixa Capital.	57
Figura 10. Exposições suavizadas para o Safra Index com os respectivos intervalos de 95% de confiança.	58
Figura 11. Diagnósticos gráficos sobre as inovações padronizadas do modelo final para o Safra Index.	58
Figura 12. Exposições suavizadas para o Western Asset com os respectivos intervalos de 95% de confiança.	59
Figura 13. Diagnósticos gráficos sobre as inovações padronizadas do modelo final para o Western Asset.	60
Figura 14. Exposições suavizadas para o BB Atuarial com os respectivos intervalos de 95% de confiança.	61
Figura 15. Diagnósticos gráficos sobre as inovações padronizadas	

do modelo final para o BB Atuarial.	61
Figura 16. Exposições suavizadas para o BNP Paribas com os respectivos intervalos de 95% de confiança.	62
Figura 17. Diagnósticos gráficos sobre as inovações padronizadas do modelo final para o BNP Paribas.	63
Figura 18. Exposições suavizadas para o IB Inflation com os respectivos intervalos de 95% de confiança.	63
Figura 19. Diagnósticos gráficos sobre as inovações padronizadas do modelo final para o IB Inflation.	64
Figura 20. Exposições suavizadas para o Unibanco Índice com os respectivos intervalos de 95% de confiança.	65
Figura 21. Diagnósticos gráficos sobre as inovações padronizadas do modelo final para o Unibanco Índice.	65

Lista de tabelas

Tabela 1. Patrimônio líquido dos fundos. Fonte <i>Quantum</i> . Data: setembro de 2008.	43
Tabela 2. Índices que foram excluídos (x) e mantidos (v) para prosseguirem na modelagem.	49
Tabela 3. Informações analíticas sobre o modelo “cheio” para cada fundo. Os p-valores dos testes encontram-se entre parênteses e “*” significa que o teste foi feito sobre o quadrado das inovações padronizadas.	67
Tabela 4. Informações analíticas sobre o modelo final para cada fundo. Os p-valores dos testes encontram-se entre parênteses e “*” significa que o teste foi feito sobre o quadrado das inovações padronizadas.	68