

**José Luis Couto Lyra Júnior**

**Implementação de Software para Apoio ao  
Gerenciamento de Risco Operacional**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELÉTRICA**

Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica

Rio de Janeiro  
Junho de 2005

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**José Luis Couto Lyra Júnior**

## **Implementação de Software para Apoio ao Gerenciamento de Risco Operacional**

### **Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Álvaro de Lima Veiga Filho

Rio de Janeiro

Junho de 2005



**José Luis Couto Lyra Júnior**

## **Implementação de Software para Apoio ao Gerenciamento de Risco Operacional**

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

**Dr. Álvaro de Lima Veiga Filho**

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

**Dra. Fernanda Chaves Pereira**

IAPUC

**Dr. Marcelo Cruz**

RiskMaths

**Dr. Leonardo Rocha Souza**

Departamento de Matemática – PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 08 de junho de 2005

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

### **José Luis Couto Lyra Júnior**

Graduou-se em Engenharia Eletrônica no IME (Instituto Militar de Engenharia) em 1995. Interesse acadêmico por modelagem estatística na área de finanças. Participou do projeto Genesis na incubadora de empresas da PUC-Rio, sendo sócio da empresa MHW Informática Ltda. Coordenou e desenvolveu o UniverSite, software de gerenciamento de ensino a distância via Web. É gerente de projeto da empresa DBA Engenharia de Sistemas Ltda, atuando junto a Caixa Econômica Federal.

#### Ficha catalográfica

Lyra Júnior, José Luis Couto

Implementação de software para apoio ao gerenciamento de risco operacional / José Luis Couto Lyra Júnior ; orientador: Álvaro de Lima Veiga Filho. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

212 f. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Risco operacional. 3. Modelo de distribuição de perdas. 4. Distribuição de severidade e de frequência. 5. Software de gerenciamento de risco operacional. I. Veiga Filho, Álvaro de Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica . III. Título.

CDD: 621.3

À minha esposa Silvia, alegria da minha vida,  
companheira de todos os momentos,  
fonte de energia e inspiração.

Ao meu Pai, meu herói, meu espelho.  
Aonde estiver, espero que  
se orgulhe de mim.

## Agradecimentos

Agradeço a minha amada esposa Silvia pela compreensão nos meus momentos de falta ou de estresse, pelo carinho, pelo incentivo, e por simplesmente escutar minhas queixas e lamentações. A vida seria impossível sem você. Te amo!

À minha mãe Regina, por sempre torcer por mim, vibrar com meus sucessos, me consolar nos fracassos, e acima de tudo acreditar no meu potencial.

Ao meu orientador Álvaro Veiga pela oportunidade que me foi dada, ensinamentos transmitidos, apoio e incentivo na elaboração deste trabalho. Obrigado pela confiança!

Aos meus familiares e amigos que me apoiaram direta ou indiretamente ao longo deste curso.

Ao meu amigo Valentim, pela paciência, pelos conselhos, pelos conhecimentos compartilhados, e por ter me indicado a área de Métodos de Apoio à Decisão do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Ao meu sócio e amigo Vidal, por estar sempre disposto a ajudar. Esse guru da informática tem solução para quase tudo. Muito obrigado pela enorme contribuição no desenvolvimento do protótipo, e pela confiança que sempre depositou em mim.

À Adriana Ribeiro, coordenadora do projeto de sistema de Risco Operacional da Caixa Econômica Federal, pelas ricas e proveitosas conversas, pelas dicas de pesquisas e materiais de apoio, e pela atenção na pronta resposta a cada e-mail.

Aos meus colegas da DBA Engenharia de Sistemas Ltda pelo apoio e compreensão em meus momentos de ausência, tornando possível a conclusão deste curso, em especial aos amigos Eduardo Riccioppo, Andrey Brito, Luiz Fernando Wellisch, Cristiano Coelho, Estevão Andrade, Alexandre Seabra, Thereza Lima, Martha Cunha e Adriane Cecílio.

À Caixa Econômica Federal, empresa onde presto serviço, pelo despertar do interesse em modelagem estatística, e pelo incentivo de muitos de seus funcionários ao longo desta jornada. Um agradecimento especial ao amigo Marcos Posso, parceiro de diversas divagações, pela motivação, e ao amigo Paulo Basile, pela flexibilidade e tranquilidade no ambiente de trabalho, o que garantiu um melhor aproveitamento do curso.

A todos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica pelos valiosos ensinamentos e pela cordial ajuda.

## Resumo

Lyra Júnior, José Luis Couto; Veiga Filho, Álvaro de Lima (Orientador). **Implementação de software para apoio ao gerenciamento de risco operacional.** Rio de Janeiro, 2005. 212p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O gerenciamento de risco em instituições bancárias, mais do que mera imposição das agências reguladoras distingue-se como fator de sucesso na melhoria dos processos, aumentando o resultado financeiro. Após o Acordo da Basileia, a gerência de riscos de mercado e de crédito, cuja atuação se dá sobre as receitas, passou a ser realizada. Entretanto, alguns riscos atuam sobre as despesas, destacando-se o operacional, que é o risco de perdas oriundas de problemas com controles internos, sistemas, pessoas e eventos externos. O objetivo deste trabalho foi elaborar uma revisão abrangente da literatura e um protótipo de sistema computacional que permite medir o VaR do risco operacional de uma unidade de risco, utilizando o Modelo de Distribuição de Perdas (LDA), e aplicar modelos causais que expliquem estas perdas. Este protótipo é uma aplicação Internet/intranet desenvolvida na linguagem ASP e utilizou o MS-Access como banco de dados. Para os cálculos estatísticos, implementou-se uma interface de comunicação aplicação/MATLAB. A revisão da literatura objetivou a familiarização com conceitos básicos de risco operacional descritos pelo Comitê da Basileia. Adicionalmente, apresentou detalhes técnicos para implementação do LDA, tais como Distribuição de Frequência e de Severidade, métodos para determinação da distribuição de perdas operacionais e construção da base de dados de perdas. Independente das particularidades institucionais, esse protótipo permite a visualização das providências estratégicas e operacionais a serem tomadas para implementação e implantação de um sistema similar. Marca um ponto de partida para o desenvolvimento de um produto abrangente de gerenciamento de risco operacional nas mais variadas instituições e segmentos de mercado.

## Palavras-chave

Risco operacional; modelo de distribuição de perdas; distribuição de severidade e de frequência; software de gerenciamento de risco operacional

## Abstract

Lyra Júnior, José Luis Couto; Veiga Filho, Álvaro de Lima (Advisor). **Software implementation for operational risk management support.** Rio de Janeiro, 2005. 212p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The risk management in financial institutions, more than just an imposition of the regulatory agencies, represents a success factor in the processes enhancement, elevating the financial results. After Basel Accord, credit and market risks management, which acts over earnings, were implemented. However, some risks are associated to the expenses, such as the operational risk, related to the losses from internal control, systems, human and external events problems. The aim of the present study was the elaboration of an extensive literature review and the development of a computation system prototype able to measure the operational risk VaR of a risk unit, using the Loss Distribution Approach (LDA) and to apply causal models that explain these losses. This prototype is an Internet/intranet application developed in ASP language, using MS-Access as database. For statistical evaluation, an interface between the application and MATLAB was implemented. The literature review pretended to give a better understanding of the basic concepts of operational risk described by the Basel Committee. In addition, it presented technical details for LDA implementation, such as Frequency and Severity Distribution, methods for the distribution of the operational losses determination and losses database construction. Independent of institutional peculiarities, this prototype allows the observation of strategic and operational providences to be taken for implementation and implantation of a similar system. It determines a starting-point in the development of an operational risk management product valuable in several institutions and market segments.

## Keywords

Operational risk; loss distribution approach; frequency and severity distribution; operational risk management software

# Sumário

1	Introdução	15
1.1.	Motivação	16
1.2.	Contribuições	18
1.3.	Estrutura do trabalho	19
2	Capital Regulatório	22
2.1.	O Comitê de Supervisão Bancária da Basiléia	22
2.2.	O Novo Acordo de Capital da Basiléia	24
2.3.	Definição de Risco Operacional	26
2.4.	Abordagens para Alocação de Capital para Risco Operacional	29
3	Base de Dados	35
3.1.	Modelagem da Base de Dados	35
3.2.	Coleta de Dados	39
3.3.	Tratamento e Armazenamento	48
3.4.	Análise dos Dados	49
4	Modelo de Perdas Operacionais	51
4.1.	Modelo de Distribuição de Perdas (LDA)	51
4.1.1.	Distribuição de Perdas Operacionais	54
4.1.1.1.	Métodos de Determinação da Distribuição de Perdas Operacionais	58
4.1.1.1.1.	Método Analítico – Solução Fechada	59
4.1.1.1.2.	Método da Distribuição Aproximada	61
4.1.1.1.3.	Método do Cálculo Direto	62
4.1.1.1.4.	Método Recursivo	63
4.1.1.1.5.	Métodos de Inversão	65
4.1.1.1.6.	Método de Simulação	67
4.1.2.	Cálculo do Capital Regulatório (OPVaR)	68
4.1.2.1.	Para uma linha de negócio (i) e um tipo de evento (j)	70
4.1.2.2.	Para o banco como um todo	71
4.1.2.2.1.	Método do Somatório	71
4.1.2.2.2.	Método das Unidades de Risco Independentes	72
4.1.2.2.3.	Regra da Raiz Quadrada	72
4.1.2.2.4.	Efeito da Diversificação	73
4.1.3.	Validação do Modelo de Perdas Operacionais	73
4.1.3.1.	Técnica de <i>Cross Validation</i>	74
4.1.3.2.	Técnica <i>k-fold Cross Validation</i>	75
4.1.3.3.	Teste de Kupiec	75
4.1.3.4.	Crítério de Crnkovic-Drachman	76
4.1.3.5.	Índice Extremal	76
4.1.3.5.1.	Método do Tamanho Médio do Agrupamento	77
4.1.3.5.2.	Método dos Blocos	77
4.1.3.5.3.	Uso Prático do Índice Extremal	77
4.1.4.	Alocação do Capital Econômico	78
4.1.5.	Extensões ao Modelo de Perdas Operacionais	80
4.1.6.	Metodologia do Modelo de Perdas Operacionais	81
4.2.	Modelos de Severidade	82
4.2.1.	Distribuições de Probabilidade	84

4.2.1.1. GEV ( <i>Generalized Extreme Value</i> )	85
4.2.1.2. GPD ( <i>Generalized Pareto</i> )	86
4.2.2. Análise dos Dados	88
4.2.2.1. Distribuição Empírica e Gráfico de Cauda	88
4.2.2.2. Gráfico da Média dos Excessos	89
4.2.3. Estimacão dos Parâmetros	89
4.2.3.1. Amostragem	90
4.2.3.1.1. Dados Truncados	90
4.2.3.1.2. Dados Agregados	93
4.2.3.2. Métodos de Estimacão	95
4.2.3.2.1. Método dos Momentos Truncados	95
4.2.3.2.2. Método da Máxima Verossimilhança	96
4.2.3.2.3. Método dos Momentos Ponderados	96
4.2.3.2.4. Métodos de Estimacão do Parâmetro da Forma ( $\xi$ )	97
4.2.3.2.5. Método dos Mínimos Quadrados	99
4.2.4. Critérios de Seleção	100
4.2.4.1. PP-plot ou QQ-plot	100
4.2.4.2. Função de Sobrevivência do Máximo Teórico	101
4.2.4.3. Teste de Kolmogorov-Smirnov (KS)	102
4.2.4.4. Teste de Anderson-Darling (AD)	103
4.3. Modelos de Freqüência	103
4.3.1. Distribuições de Probabilidade	104
4.3.1.1. Poisson	104
4.3.1.2. Binomial Negativa	105
4.3.1.3. Binomial	106
4.3.2. Análise dos Dados	107
4.3.2.1. Estatística Descritiva	108
4.3.3. Estimacão dos Parâmetros	108
4.3.3.1. Amostragem	108
4.3.3.1.1. Efeito da Exposição	109
4.3.3.1.2. Mistura de Dados Internos e Externos	110
4.3.3.2. Métodos de Estimacão	113
4.3.4. Critérios de Seleção	113
4.3.4.1. Teste Qui-Quadrado de Pearson	113
5 Gerenciamento do Risco Operacional	115
5.1. Modelos Causais	115
5.2. Gerenciamento do Risco Operacional	117
5.3. Sistema de Gerenciamento de Risco Operacional – Visão Conceitual	122
5.3.1. Módulo Administrativo	124
5.3.2. Módulo Auto Avaliação	124
5.3.3. Módulo de Configuracão	125
5.3.4. Módulo Interface Padrão	125
5.3.5. Módulo Entrada de Perdas	125
5.3.6. Módulo Gerência Qualitativa	126
5.3.7. Módulo Gerência Quantitativa	128
5.3.8. Módulo Relatórios	128
5.3.9. Modelo de Dados	129
5.4. Sistema de Gerenciamento de Risco Operacional – Protótipo	130
5.4.1. Modelo de Entidade e Relacionamentos (MER)	130
5.4.1.1. Cadastro de Unidades de Risco	131
5.4.1.2. Cadastro de Eventos de Perdas	132
5.4.1.3. Cadastro de Modelos de Medidas	133
5.4.1.4. Cadastro de Modelos Causais	134

5.4.1.5. Cadastro de Elementos de Políticas de Risco	135
5.4.2. Padrão Visual e de Navegação	136
6 Conclusões	161
6.1. Limitações ao estudo	161
6.2. Sugestão de trabalhos futuros	162
6.3. Considerações Finais	164
7 Referências Bibliográficas	166
Anexos	
A. Distribuição de $S(ij)$ condicionada a $N(ij)=n$	175
B. Métodos de Discretização	177
C. Distribuições da Classe $(a, b, 0)$	179
D. Distribuições da Classe $(a, b, 1)$	180
E. Método dos Momentos Ponderados (PWM)	181
F. Listagem de Programas MatLab	183

## Lista de Figuras

Figura 1 – Estrutura de Risco Operacional segundo o Novo Acordo da Basiléia. Fonte: Guimarães (2003) [46].	36
Figura 2 – Modelo de agregação da severidade e da frequência.	57
Figura 3 – Classificação das Perdas.	69
Figura 4 – Efeito bottom-up na alocação de capital econômico com o LDA.	79
Figura 5 – Abordagem geral para ajuste de distribuição estatística.	82
Figura 6 – Ilustração básica da TVE. Fonte: Cruz (2002) [26].	83
Figura 7 – Método do Máximo dos Blocos: eventos de maior severidade são coletado em determinados período de tempo. Fonte: Cruz (2002) [26].	86
Figura 8 – Método POT (Peak Over Threshold): eventos são selecionados acima de um limite (linha tracejada), ignorando o tempo. Fonte: Cruz (2002) [26].	87
Figura 9 – Função sobrevivência dos dados originais da cauda.	102
Figura 10 – Diagrama de contexto do sistema de gerenciamento de risco operacional proposto.	123
Figura 11 – Cadastro de Unidades de Risco	131
Figura 12 – Cadastro de Eventos de Perda	132
Figura 13 – Cadastro de Modelos de Medidas.	133
Figura 14 – Cadastro de Modelos Causais	134
Figura 15 – Cadastro de Políticas de Risco	135
Figura 16 – Tela de controle de acesso à aplicação	136
Figura 17 – Página inicial da aplicação	137
Figura 18 – Tela da funcionalidade Logout	138
Figura 19 – Tela da funcionalidade Trocar Senha	138
Figura 20 – Tela principal da funcionalidade Cadastro de Órgãos	139
Figura 21 – Tela de adição de novo objeto (nesse caso órgão)	140
Figura 22 – Tela de edição do objeto selecionado (objeto pai)	140
Figura 23 – Tela de alteração de objeto	141
Figura 24 – Tela de confirmação de exclusão de objeto	142
Figura 25 – Tela principal da funcionalidade Tipos de Efeitos	142
Figura 26 – Tela principal da funcionalidade Unidades de Risco	143
Figura 27 – Tela de coordenadas referentes a dimensão selecionada	144
Figura 28 – Tela de coordenadas possíveis para uma dimensão	144
Figura 29 – Tela de coordenadas referentes a dimensão selecionada (após adição de nova coordenada)	145
Figura 30 – Tela de adição de nova variável	146
Figura 31 – Tela principal da funcionalidade Eventos	146
Figura 32 – Tela de adição de novo evento de perda operacional	147
Figura 33 – Tela de cadastro de valores das variáveis de um evento associado	148
Figura 34 – Tela de alteração do valor da variável de um evento associado	148
Figura 35 – Tela principal da funcionalidade Modelo de Medida	149
Figura 36 – Tela de adição de novo modelo de medida	151
Figura 37 – Tela principal da funcionalidade Modelo Causal	152
Figura 38 – Tela de adição de novo modelo causal	153

Figura 39 – Tela de cadastro de modelos causais – variáveis	154
Figura 40 – Tela de alteração de informações da variável	154
Figura 41 – Tela da funcionalidade Relatórios	156
Figura 42 – Exemplo de distribuição subjacente da severidade	156
Figura 43 – Exemplo de distribuição subjacente da frequência	157
Figura 44 – Exemplo de determinação da distribuição perdas operacionais e do VaR pelo método da simulação (10000 cenários)	157
Figura 45 – Exemplo de determinação da distribuição agregada e do VaR pelo método da Inversão – FFT	158
Figura 46 – Distribuição subjacente da variável System Downtime	158
Figura 47 – Distribuição subjacente da variável Employees	159
Figura 48 – Distribuição subjacente da variável Data Quality	159
Figura 49 – Distribuição subjacente da variável Transactions	160
Figura 50 – Distribuição de perdas operacionais sob estresse e o VaR, simulação de cenário e determinação do modelo de regressão linear com o respectivo $R^2$	160

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Principais ocorrências de risco operacional que despertaram a atenção da comunidade financeira internacional. Fonte: Marshal (2000) [62]	16
Tabela 2 - Principais ocorrências de risco operacional que despertaram a atenção da comunidade financeira internacional. Fonte: Marshal (2000) [62]	26
Tabela 3 – Procedimentos de coleta de dados de perdas operacionais. Fonte adaptada: Guimarães (2003) [46]	40
Tabela 4 – Comparação entre o peso das caudas de algumas distribuições. A e B são constantes. Fonte: Cruz (2002) [26].	84