

Eduardo Magno Lages Figueiredo

**Uma Abordagem Quantitativa para Desenvolvimento de
Software Orientado a Aspectos**

Dissertação de Mestrado

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

Orientadores: Carlos José Pereira de Lucena
Alessandro Fabricio Garcia

Rio de Janeiro
Março de 2006



Eduardo Magno Lages Figueiredo

Uma Abordagem Quantitativa para Desenvolvimento de Software Orientado a Aspectos

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Carlos José Pereira de Lucena
Orientador
PUC-Rio

Prof. Alessandro Fabricio Garcia
Co-Orientador
Universidade de Lancaster – UK

Prof. Arndt von Staa
PUC-Rio

Prof. Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira
PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 29 de março de 2006

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

Eduardo Magno Lages Figueiredo

Graduou-se em Ciência da Computação na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) em 2003.

Ficha Catalográfica

Figueiredo, Eduardo Magno Lages

Uma abordagem quantitativa para desenvolvimento de software orientado a aspectos / Eduardo Magno Lages Figueiredo ; orientador: Carlos José Pereira de Lucena; co-orientador: Alessandro Fabricio Garcia. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2006.

140 f. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Desenvolvimento de software orientado a aspectos. 3. Método de avaliação. 4. Engenharia de software experimental. 5. Software. 6. Padrões de projeto. I. Lucena, Carlos José Pereira de. II. Garcia, Alessandro Fabrício Garcia. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores Carlos Lucena e Alessandro Garcia, pois sem eles este trabalho não teria sido possível. O professor Lucena trouxe apoio, confiança, ensinamentos e liberdade para escolher o trabalho, enquanto o amigo Alessandro complementou com incentivo, criatividade, dinamismo e adrenalina (nos *deadlines*).

Aos professores do Departamento de Informática que contribuíram para a minha formação. Em especial, ao professor Arndt von Staa por ter me acompanhado desde o meu primeiro relatório técnico pelo mundo de medições e qualidade de software. Também ao professor Renato Cerqueira pelas discussões que permitiram melhorias neste documento.

Aos participantes dos estudos experimentais que contribuíram diretamente para os resultados alcançados: Alessandro Garcia, Cláudio Sant'Anna, Carlos Lucena, Uirá Kulesza, Arndt von Staa, Nélio Cacho, Thaís Batista, Fernando Castor, Cecília Rubira e Thiago Bartolomei. Em particular, ao amigo Cláudio Sant'Anna que foi fundamental para os caminhos traçados e compartilhou cada idéia desta dissertação.

Agradeço também ao professor Marcelo Maia (UFOP) pelos primeiros passos na Engenharia de Software e pelas conversas sobre manipulação de programas.

Aos colegas do Laboratório de Engenharia de Software, onde encontrei um espaço privilegiado para desenvolvimento de meu trabalho, em especial ao grupo “Aspectos@PUC-Rio” pelas frutíferas discussões.

À Vera Menezes pelo carinho e apoio, especialmente em questões administrativas.

À CAPES, à PUC-Rio e à Fundação Padre Leonel Franca, pelo apoio financeiro.

Agradeço aos meus pais José e Sônia, aos meus irmãos Ângelo, Rosane e Marcelo e à minha princesinha Marina, pelo incentivo, carinho e amor incondicional.

À Deus, por me agraciar com tantas conquistas.

Resumo

Figueiredo, Eduardo. **Uma Abordagem Quantitativa para Desenvolvimento de Software Orientado a Aspectos**. Rio de Janeiro, 2006. 140p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O desenvolvimento de software orientado a aspectos é um paradigma recente que introduz novas abstrações e mecanismos com o objetivo de melhorar a modularidade de interesses que se espalham pelo sistema. Entretanto, a satisfação de atributos de qualidade em sistemas orientados a aspectos não é tarefa simples e a utilização equivocada destas novas abstrações pode resultar em efeitos colaterais relacionados a princípios importantes da Engenharia de Software, tais como elevado acoplamento, baixa coesão dos módulos e incompleta modularidade dos interesses em aspectos. Problemas como estes não são facilmente verificáveis em sistemas de médio e grande porte sem um método adequado e, geralmente, consomem muito tempo e recursos. Portanto, torna-se necessário um método de avaliação que auxilie engenheiros de software na análise de sistemas orientados a aspectos. Este trabalho de mestrado propõe uma abordagem que provê suporte à avaliação quantitativa de implementações orientadas a aspectos. A abordagem incluiu: (i) um método de avaliação organizado em etapas, e (ii) uma ferramenta de medição e avaliação, chamada AJATO, que dá suporte ao método proposto. O método é composto por um conjunto de métricas e regras heurísticas. As métricas fornecem informações quantitativas e as heurísticas contribuem com algum raciocínio semântico dos números. A ferramenta AJATO é composta por quatro módulos que efetuam o *parser* do código, mapeamento de estruturas sintáticas em interesses, medição e avaliação heurística. Um conjunto de cinco estudos de caso envolvendo domínios de aplicação distintos foi realizado para avaliar a utilidade e usabilidade da abordagem proposta.

Palavras-chave

Desenvolvimento de software orientado a aspectos, método de avaliação, métricas de software, engenharia de software experimental, padrões de projeto.

Abstract

Figueiredo, Eduardo. **A Quantitative Approach to Aspect Oriented Software Development**. Rio de Janeiro, 2006. 140p. Master Thesis – Computer Science Department, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

Aspect-oriented software development is an emerging paradigm that provides new abstractions and mechanisms to support the modularization of crosscutting concerns through the software development lifecycle. However, the achievement of high-quality aspect-oriented software is not trivial. The inappropriate use of aspect-oriented abstractions and mechanisms potentially leads to the violation of important design principles, such as low coupling, high cohesion, incomplete modularization of crosscutting concerns into aspects, and so forth. These problems are not easily detectable and an *ad hoc* analysis of large designs and implementations is often expensive and time-consuming. Hence there is a need for an assessment method that assists software engineers in the analysis of their aspect-oriented implementations. This work proposes the development of a systematic approach to support the quantitative assessment of aspect-oriented software. The approach is organized in a stepwise fashion and is founded on a metrics suite and a comprehensive set of complementary rules. Our proposal is supported by a measurement and assessment tool. A set of five case studies from different application domains have been carried out in order to evaluate the usability and usefulness of our proposed approach.

Keywords

Aspect-Oriented Software Development, Assessment Method, Software Metrics, Empirical Software Engineering, Design Patterns.

Sumário

1	Introdução	15
1.1.	Definição do Problema	15
1.2.	Limitações dos Trabalhos Relacionados	16
1.3.	Solução Proposta	17
1.4.	Organização do Texto	18
2	Desenvolvimento de Software Orientado a Aspectos	20
2.1.	AspectJ: uma Extensão de Java para Orientação a Aspectos	22
2.2.	Alguns Exemplos de Utilização de Aspectos	26
3	Estado da Arte e Trabalhos Relacionados	29
3.1.	Qualidade de Software	29
3.2.	Métricas de Software	30
3.3.	Avaliação de Software Baseado em Métricas	35
3.4.	Ferramentas de Desenvolvimento Orientado a Aspectos	37
3.5.	Limitações dos Trabalhos Relacionados	40
4	O Método de Avaliação	42
4.1.	Artefatos e Recursos do Método	44
4.2.	Atividades do Método	50
5	Regras Heurísticas	56
5.1.	Problemas de Interpretação em Medições	57
5.2.	Regras Heurísticas de Separação de Interesses	64
5.3.	Regras Heurísticas de Acoplamento e Coesão	70
5.4.	Definição de Valores Limite	74
6	A Ferramenta de Medição e Avaliação	77
6.1.	Modelo Arquitetural	78

6.2. Projeto e Implementação	80
7 Estudos Experimentais	92
7.1. Sistemas Utilizados nos Estudos Experimentais	92
7.2. Contribuições dos Estudos	100
7.3. Restrições dos Estudos	102
8 Considerações Finais	104
8.1. Contribuições	104
8.2. Trabalhos Futuros	106
9 Referências	109
Apêndice A Resultados Estudo Experimental dos Padrões	115
Apêndice B Resultados do Estudo Experimental Middleware OpenOrb122	
Apêndice C Resultados do Estudo Experimental Portalware	132
Apêndice D Resultados do Estudo Experimental Health Watcher	136

Lista de figuras

Figura 1 – Separação de interesses (a) bidimensional e (b) tridimensional	21
Figura 2 – Interesse transversal em sistemas (a) OO e (b) OA	22
Figura 3 – Exemplo de aspecto para tratamento de falhas	26
Figura 4 – Exemplo de aspecto para associação de papel a classes	27
Figura 5 – Exemplo de aspecto para registrar tempo de conexão com servidor	28
Figura 6 – Diagrama de classes OO do editor de figuras	33
Figura 7 – Sombreamento da classe <code>Line</code> do editor de figuras	34
Figura 8 – Modelo de qualidade proposto por Sant’Anna <i>et al.</i> [57]	36
Figura 9 – Atividades do <i>Concern Manipulation Environment</i>	37
Figura 10 – Módulos da ferramenta de Ceccato e Tonella [13]	40
Figura 11 – Método progressivo para avaliação de software	43
Figura 12 – Diagrama de classes do padrão <i>Mediator</i>	46
Figura 13 – Sombreamento da classe <code>Button</code> do padrão <i>Mediator</i>	48
Figura 14 – Diagrama de classes OO do padrão <i>Prototype</i>	54
Figura 15 – Diagrama de classes OA do padrão <i>Prototype</i>	54
Figura 16 – Diagrama de classes OO destacando <i>Observer</i> e <i>Factory Method</i>	58
Figura 17 – Diagrama de classe OO destacando padrões <i>Facade</i> e <i>Singleton</i>	61
Figura 18 – Diagrama de estados dos interesses e regras de transição	65
Figura 19 – Diagrama de estados dos componentes e regras de transição	71
Figura 20 – Representação arquitetural da ferramenta AJATO	78
Figura 21 – Interface da ferramenta de avaliação	81
Figura 22 – Janelas para carregar um sistema e respectiva ajuda	82
Figura 23 – Estrutura de diretórios da ferramenta AJATO	83
Figura 24 – Modelo de decomposição de sistemas AspectJ	84
Figura 25 – Diagrama de classes parcial do Modelo AspectJ.	85
Figura 26 – Diagrama de classes parcial do módulo Extrator de Modelo AspectJ86	
Figura 27 – Diagrama de classes parcial do módulo Gerenciador de Interesses	87
Figura 28 – Diagrama de classes parcial do módulo Coletor de Métricas	89
Figura 29 – Diagrama de classes da estrutura de medição	89

Figura 30 – Diagrama de classes parcial do módulo Analisador de Regras	91
Figura 31 – Diagrama de classes OO parcial da middleware OpenOrb	95
Figura 32 – Diagrama de classes OO parcial do Portalware	97
Figura 33 – Diagrama de classes OA parcial do Portalware	97
Figura 34 – Diagrama de classes OO parcial do Health Watcher	99
Figura 35 – Diagrama de classes OA parcial do Health Watcher	99

Lista de tabelas

Tabela 1 – Conjunto de métricas orientadas a aspectos do método	51
Tabela 2 – Conjunto de regras heurísticas baseadas em uma única métrica	52
Tabela 3 – Resultado das métricas de SI para <i>Observer</i> e <i>Factory Method</i>	59
Tabela 4 – Resultado de acoplamento e coesão para o padrão <i>Factory Method</i>	60
Tabela 5 – Resultado das métricas de SI para padrões <i>Façade</i> e <i>Singleton</i>	61
Tabela 6 – Resultado das métricas para o papel <i>Subject</i> do padrão <i>Observer</i>	64
Tabela 7 – Regras heurísticas de separação de interesses	67
Tabela 8 – Regras heurísticas de acoplamento e coesão	73
Tabela 9 – Valores limite utilizados nas regras heurísticas	75
Tabela 10 – Elementos da abordagem avaliados nos estudos experimentais	93
Tabela 11 – Problemas identificados pelas regras heurísticas nos sistemas	101
Tabela 12 – Resultados de SI e tamanho para o papel <i>Subject</i>	115
Tabela 13 – Resultados de SI e tamanho para o papel <i>Observer</i>	115
Tabela 14 – Resultado de acoplamento e coesão para o padrão <i>Observer</i>	116
Tabela 15 – Regras de SI para o papel <i>Subject</i> do padrão <i>Observer</i>	116
Tabela 16 – Regras de SI para o papel <i>Observer</i> do padrão <i>Observer</i>	116
Tabela 17 – Regras de Acoplamento e Coesão para o padrão <i>Observer</i>	117
Tabela 18 – Resultados de SI e tamanho para o papel <i>Creator</i>	118
Tabela 19 – Resultado de acoplamento e coesão para o <i>Factory Method</i>	118
Tabela 20 – Regras de SI para o papel <i>Creator</i> do padrão <i>Factory Method</i>	118
Tabela 21 – Resultados de SI e tamanho para o papel <i>Director</i>	120
Tabela 22 – Resultado de acoplamento e coesão para o padrão <i>Builder</i>	120
Tabela 23 – Regras de SI para o papel <i>Director</i> do padrão <i>Builder</i>	120
Tabela 24 – Resultados de SI e tamanho para o padrão <i>Observer</i>	122
Tabela 25 – Resultados de SI e tamanho para o padrão <i>Factory Method</i>	122
Tabela 26 – Resultado de acoplamento e coesão para <i>Observer</i> com <i>Factory Method</i>	123
Tabela 27 – Regras de SI para o padrão <i>Observer</i>	123
Tabela 28 – Regras de SI para o padrão <i>Factory Method</i>	123

Tabela 29 – Regras de acoplamento e coesão para composição <i>Observer</i> com <i>Factory Method</i>	124
Tabela 30 – Resultados de SI e tamanho para o padrão <i>Singleton</i>	125
Tabela 31 – Resultados de SI e tamanho para o padrão <i>Façade</i>	125
Tabela 32 – Resultado de acoplamento e coesão para <i>Singleton</i> com <i>Façade</i>	125
Tabela 33 – Regras de SI para o padrão <i>Singleton</i> na composição com <i>Façade</i>	125
Tabela 34 – Regras de SI para o padrão <i>Façade</i> na composição com <i>Singleton</i>	126
Tabela 35 – Regras de acoplamento e coesão para <i>Singleton</i> com <i>Façade</i>	126
Tabela 36 – Resultados de SI e tamanho para o padrão <i>Proxy</i>	127
Tabela 37 – Resultados de SI e tamanho para o padrão <i>Interpreter</i>	127
Tabela 38 – Resultado de acoplamento e coesão para <i>Proxy</i> com <i>Interpreter</i>	128
Tabela 39 – Regras de SI para o padrão <i>Proxy</i> na composição com <i>Interpreter</i>	128
Tabela 40 – Regras de SI para o padrão <i>Interpreter</i> na composição com <i>Proxy</i>	128
Tabela 41 – Regras de acoplamento e coesão para <i>Proxy</i> com <i>Interpreter</i>	129
Tabela 42 – Resultados de SI e tamanho para o padrão <i>State</i>	130
Tabela 43 – Resultado de acoplamento e coesão para <i>Prototype</i> com <i>State</i>	130
Tabela 44 – Regras de SI para o padrão <i>State</i> na composição com <i>Prototype</i>	130
Tabela 45 – Resultados de SI e tamanho para o interesse Adaptação	132
Tabela 46 – Resultados de SI e tamanho para o interesse Colaboração	132
Tabela 47 – Resultados de SI e tamanho para o interesse Autonomia	132
Tabela 48 – Resultado de acoplamento e coesão para o <i>Portalware</i>	133
Tabela 49 – Regras de SI para o interesse Adaptação	134
Tabela 50 – Regras de SI para o interesse Colaboração	134
Tabela 51 – Regras de SI para o interesse Autonomia	134
Tabela 52 – Regras de acoplamento e coesão para o <i>Portalware</i>	135
Tabela 53 – Resultados de SI e tamanho para o interesse Concorrência	136
Tabela 54 – Resultados de SI e tamanho para o interesse Distribuição	136
Tabela 55 – Resultado de acoplamento e coesão para o <i>Health Watcher</i>	137
Tabela 56 – Regras de SI para o interesse Concorrência do <i>Health Watcher</i>	139
Tabela 57 – Regras de SI para o interesse Distribuição do <i>Health Watcher</i>	139
Tabela 58 – Regras de acoplamento e coesão para o <i>Health Watcher</i>	139

Lista de métricas

Sigla	Nomes (Inglês e Tradução)	Referências
CBC	Coupling Between Components Acoplamento entre Componentes	[31] [57]
CBO	Coupling Between Objects Acoplamento entre Objetos	[14]
CDC	Concern Diffusion over Components Difusão de Interesse em Componentes	[31] [57]
CDLOC	Concern Diffusions over Lines of Code Difusão de Interesse em Linhas de Código	[31] [57]
CDO	Concern Diffusion over Operations Difusão de Interesse em Operações	[31] [57]
DIT	Depth Inheritance Tree Profundidade da Árvore de Herança	[13] [14]
LCOO	Lack of Cohesion in Operations Perda de Coesão em Operações	[13] [57]
LCOM	Lack of Cohesion in Methods Perda de Coesão em Métodos	[14]
LOC	Lines of Code Número de Linhas de Código	[20] [47]
NOA	Number of Attributes Número de Atributos	[20] [57]
NOC	Number of Children Número de Filhos	[14] [22]
NOO	Number of Operations Número de Operações	[20] [22]
NOS	Number of Statements Número de Comandos	[20] [22]

VS	Vocabulary Size Tamanho do Vocabulário	[31] [57]
WOC	Weighted Operations per Component Peso das Operações por Componente	[31] [57]
WMC	Weighted Methods per Class Peso dos Métodos por Classe	[13] [14]
NOA _{concern}	Number of Attributes per Concern Número de Atributos do Interesse	-
NOO _{concern}	Number of Operations per Concern Número de Operações do Interesse	-
LOC _{concern}	Number of Lines of Code per Concern Número de Linhas de Código do Interesse	-

Neste documento os nomes das métricas são usados em português, entretanto, as suas respectivas siglas fazem referência aos nomes originais.