

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ANDERSON DA SILVA MARCOLINO

Avaliação experimental da abordagem SMarty para gerenciamento de
variabilidade em linhas de produto de software baseadas em UML

Maringá

2014

ANDERSON DA SILVA MARCOLINO

Avaliação experimental da abordagem SMarty para gerenciamento de
variabilidade em linhas de produto de software baseadas em UML

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Departamento de Informática, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Edson Alves de Oliveira Junior

Maringá
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

M321a Marcolino, Anderson da Silva
Avaliação experimental da abordagem SMarty para gerenciamento de variabilidade em linhas de produto de software baseadas em UML / Anderson da Silva Marcolino. -- Maringá, 2014.
163 f. : il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Edson Alves de Oliveira Junior.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Informática, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2014.

1. SMarty - Estudos empíricos. 2. Gerenciamento de variabilidade. 3. SMarty - Gerenciamento de variabilidade. 4. Linha de produto de software - Variabilidade. 5. SMarty. 6. UML (Linguagem de modelagem unificada). I. Oliveira Junior, Edson Alves, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Informática. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. III. Título.

CDD 21.ed. 005.12

AMMA-001782

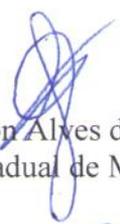
FOLHA DE APROVAÇÃO

ANDERSON DA SILVA MARCOLINO

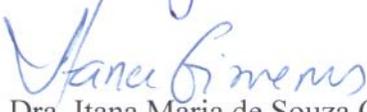
Avaliação experimental da abordagem SMarty para gerenciamento de
variabilidade em linhas de produto de software baseadas em UML

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Departamento de Informática, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação pela Banca Examinadora composta pelos membros:

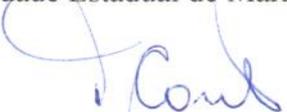
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Edson Alves de Oliveira Junior
Universidade Estadual de Maringá – DIN/UEM



Profa. Dra. Itana Maria de Souza Gimenes
Universidade Estadual de Maringá – DIN/UEM



Profa. Dra. Tayana Uchôa Conte
Universidade Federal do Amazonas – IComp/UFAM

Aprovada em: 21 de fevereiro de 2014.

Local da defesa: Sala 101, Bloco C56, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, amigos e a toda a minha família,
pelo constante incentivo na busca pela realização
de meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por ter me acompanhado e protegido em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais, “Adauto” e “Ivanilde”, pelo carinho, incentivo e estímulo que sempre me deram em todo o meu período acadêmico.

As minhas avós, “Francisca” e “Olibia”, e meu avô “Miguel”, tias, tios, primos, amigos e vizinhos, por sempre se alegrarem com as minhas alegrias.

Ao meu orientador professor Dr. Edson A. de Oliveira Junior pelo apoio, comentários e sugestões no desenvolvimento deste projeto.

A professora Dra. Elisa H. M. Huzita, por ter sido a primeira professora do mestrado a me incentivar, ainda quando aluno não-regular, a lutar pelos meus objetivos.

Aos demais professores das disciplinas que cursei no mestrado, e também a todos os professores que participaram de minha formação e que escolheram como profissão, formar pessoas.

A todos os amigos do mestrado, pela grande amizade formada nestes dois anos de curso e, a todos os amigos do departamento, “calouros e veteranos” do curso de mestrado da UEM.

A todos os participantes dos estudos experimentais, principalmente para aqueles com quem criei vínculo de amizade e estima.

A secretária do departamento, Maria Inês Davanço Laccort, que sempre esteve pronta para sanar todas as minhas dúvidas burocráticas e acadêmicas proativamente.

Aos amigos da UNIPAR, da Secretaria Estadual de Educação do Paraná, da PRO-DAMA, pelo apoio e incentivo.

A todos aqueles, que direta ou indiretamente me apoiaram e me ajudaram neste projeto.

E a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido a este trabalho.

Avaliação experimental da abordagem SMarty para gerenciamento de variabilidade em linhas de produto de software baseadas em UML

RESUMO

A abordagem de Linha de Produto de Software (LPS) permite a reutilização de diferentes artefatos de software. Para que estes artefatos permitam que produtos específicos sejam gerados do repositório central onde são mantidos em uma LPS, diversos elementos desses artefatos, que variam de um produto a outro, denominados variabilidades, são geridos pela atividade de gerenciamento de variabilidades. A importância dessa atividade em LPS é reflexo das diversas abordagens de gerenciamento de variabilidades existentes. *Stereotype-based Management of Variability* (SMarty) é uma abordagem de gerenciamento de variabilidades que, por meio de seu perfil UML 2.0 e de um processo sistemático, permite a identificação e a representação de variabilidades em diversos modelos da UML. No entanto, a abordagem SMarty, e as demais abordagens apresentadas na literatura carecem de evidências de sua efetividade por meio de estudos empíricos que apoiem a adoção dessas abordagens em âmbito acadêmico e industrial. Neste trabalho, é proposta a extensão de SMarty 4.0 para SMarty 5.0, ampliando sua aplicação para a identificação de variabilidades em modelos de sequência da UML, e avaliando-a, juntamente com os modelos de casos de uso e classes, já suportados por SMarty, em um conjunto de estudos empíricos, que avaliam a efetividade da abordagem em comparação com outras abordagens de significância na literatura. No total, quatro estudos foram realizados com participantes de diversas instituições do Brasil. Os resultados para os estudos experimentais de casos de uso e sequência evidenciam a efetividade da abordagem SMarty 5.0 para a identificação e a representação de variabilidades, já o estudo empírico para classes apresentou efetividade inferior para a abordagem proposta, assim SMarty 5.0 foi evoluída para SMarty 5.1, sendo conduzida a um novo estudo experimental. Esse novo estudo elevou a efetividade calculada para SMarty, porém ainda em nível inferior à abordagem comparada, o que resultou em uma nova análise e considerações. As avaliações empíricas contaram ainda com técnicas de correlação, que evidenciaram que o nível de conhecimento dos participantes refletiu em uma influência menor na aplicação de SMarty 5.1, em comparação com as demais abordagens, o que sugere que suas diretrizes tiveram papel crucial para a aplicação da abordagem. Assim, SMarty 5.1 se mostra efetiva para gerir variabilidades, aumentando o nível de qualidade e garantia de geração de produtos específicos em LPSs.

Palavras-chave: Estudos empíricos. Gerenciamento de variabilidade. Linha de Produto de Software. SMarty. UML.

Empirical Evaluation of the SMarty approach for variability management in UML-based software product lines

ABSTRACT

The Software Product Line (SPL) approach allows the reuse of different software artifacts. In order to such artifacts generate specific products from a central repository of a SPL, several elements of these artifacts which vary from one product to another, called variabilities, are managed by the variability management activity. The importance of this activity in SPL reflects the diversity of existing variability management approaches. Stereotype-based Management of Variability (SMarty) is a variability management approach that, by means of its UML 2.0 profile and a systematic process, allows the identification and representation of variability in different UML models. However, SMarty and other existing approaches presented in the literature need effectiveness evidence by means of empirical studies to provide support to the adoption of such approaches in academic and industrial contexts. This work proposes the extension of SMarty 4.0, the SMarty 5.0, for UML sequence models, aiming to represent variability in dynamic level, and a set of empirical studies that evaluate the SMarty effectiveness compared with other significant existing approaches in the literature. Thus, four studies were conducted with subjects from several universities in Brazil. The results for the experimental studies of use case and sequence models demonstrate the effectiveness of SMarty 5.0 in identifying and representing variability, as the empirical study for class models could not provide any evidence on the Smarty effectiveness. Therefore, Smarty 5.0 evolved to Smarty 5.1, and another experiment was carried out. This new study increased the effectiveness calculated for SMarty, but still below the effectiveness of the compared approach. Further analysis and considerations were draw. By means of correlation techniques, it became evident that the level of knowledge of the subjects reflected on a smaller influence on the application of SMarty 5.1, compared with other approaches, suggesting that its guidelines were crucial for the application of the approach. Thus, SMarty 5.1 shows effective to manage variability in general, increasing the level of quality and guarantee of generating specific products on SPLs.

Keywords: Empirical study. SMarty. Software product line. UML. Variability management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Etapas da Metodologia de Desenvolvimento.	17
Figura 2.1	Elementos para a Extensão da UML por meio de Perfis (OMG, 2011b)	21
Figura 2.2	Exemplo Diagrama de Sequência – Transferência de Fundos . . .	25
Figura 2.3	Atividades Essenciais de LPS, adaptado de (SEI, 2012a)	27
Figura 2.4	Representação da LPS <i>e-Commerce</i> em Modelo de Casos de Uso segundo o Método PLUS (Gomaa, 2004).	30
Figura 2.5	Excerto da Representação da LPS <i>Banking</i> em Modelo de Sequência segundo a Abordagem de Ziadi et al. (Ziadi e Jezequel, 2006). . .	33
Figura 2.6	Diagrama de Sequência <i>Capture</i> (Ziadi et al., 2003a).	34
Figura 2.7	O Perfil SMartyProfile 4.0 com Suporte a Modelos de Casos de Uso, Classes, Componentes e Atividades (Fiori et al., 2012; Oliveira Junior et al., 2010a, 2013)	36
Figura 2.8	O Processo de Gerenciamento de Variabilidade e sua Interação com o Processo de Desenvolvimento de LPS traduzido de (Oliveira Junior et al., 2005)	39
Figura 2.9	Visão Geral de SMarty 4.0.	42
Figura 3.1	Exemplo de Modelo de Variabilidade em Diagrama de Sequência com SMarty (variante mutuamente exclusiva).	46
Figura 3.2	Exemplo Variante Opcional Anotado com <<optional>> em Modelos de Sequência SMarty.	47
Figura 3.3	Exemplo 2 de Variante Opcional Anotado com <<optional>> em Modelos de Sequência SMarty.	48
Figura 3.4	Exemplo de Modelo de Variabilidade em Diagrama de Sequência com SMarty (variante inclusiva).	49
Figura 3.5	Var1 e Var2 - Variantes Alternativas Inclusivas.	49
Figura 3.6	O Perfil SMartyProfile 5.0 com Suporte a Modelos de Casos de Uso, Classes, Componentes, Atividades e Sequência.	50
Figura 3.7	Visão Geral de SMarty 5.0.	52
Figura 4.1	Diagrama de Atividades para as Fases Experimentais.	57
Figura 4.2	Instituições participantes nos Estudos Experimentais e suas Localizações.	60

Figura 4.3	Conjunto de Variáveis Independentes e Dependentes por Estudos Experimentais: a) Casos de Uso, b) Classes e c) Sequência	64
Figura 4.4	Box Plot Efetividade para as Abordagens X e Y - Casos de Uso.	68
Figura 4.5	Histograma da Amostra da Efetividade para as Abordagens X e Y - Casos de Uso.	69
Figura 4.6	Escala da Correlação de Spearman (Spearman, 1987).	73
Figura 4.7	Box Plot Efetividade para as Abordagens X e Y - Classes.	74
Figura 4.8	Histograma da Amostra da Efetividade para as Abordagens X e Y - Classes (PLUS/SMarty 5.0).	75
Figura 4.9	Conjunto de Variáveis Independentes e Dependentes do: a) Primeiro e do b) Segundo Experimento de Classes.	85
Figura 4.10	Box Plot Efetividade para as Abordagens X e Y - Classes.	86
Figura 4.11	Histograma da Amostra da Efetividade para as Abordagens X e Y - Classes (PLUS/SMarty 5.1).	87
Figura 4.12	Excerto de Modelo de Classes de uma LPS representada com Método PLUS (a) e SMarty (b)	91
Figura 4.13	Box Plot de Efetividade para as Abordagens X e Y - Sequência.	93
Figura 4.14	Histograma da Amostra da Efetividade para as Abordagens X e Y - Sequência.	94
Figura 4.15	Resultados da Efetividade por Estudo Experimental.	101
Figura 1.1	Etapas do Processo de Seleção dos Estudos Primários.	132
Figura 1.2	Estudos Originais e Duplicados por Base de Busca.	134
Figura 1.3	Estudos Selecionados para Leitura na Íntegra.	135
Figura 1.4	Estudos recuperados por Ano de Publicação.	135
Figura 1.5	Quantidade de Estudos por Tópico e Base de Busca.	136
Figura 1.6	Estudos Primários Selecionados.	136
Figura 1.7	Estudos Primários Selecionados por Tipo de Publicação e Base.	138
Figura 1.8	Quantidade de Estudos por Qualis.	139
Figura 1.9	Visualização do Mapa Sistemático.	139
Figura 1.10	Quantidade de Estudos por Qualis.	142
Figura 1.11	Visualização do Mapa Sistemático.	142
Figura 2.1	Etapas do Processo de Seleção dos Estudos Primários.	156
Figura 2.2	Estudos Originais e Duplicados por Base de Busca.	158
Figura 2.3	Estudos Selecionados para Leitura na Íntegra.	159
Figura 2.4	Estudos recuperados por Ano de Publicação.	159

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Elementos Gráficos de Modelos de Sequência e suas Descrições (OMG, 2011b)	23
Tabela 2.2	Caminhos Gráficos de Modelos de Sequência e suas Descrições (OMG, 2011b)	24
Tabela 2.3	Estereótipos do Método PLUS (Gomaa, 2004).	29
Tabela 2.4	Estereótipos da Abordagem de Ziadi et al (Ziadi e Jezequel, 2006).	32
Tabela 4.1	Itens do Planejamento Experimental - Parte I.	61
Tabela 4.2	Itens do Planejamento Experimental - Parte II.	64
Tabela 4.3	Itens de Execução Experimental	65
Tabela 4.4	Resultados Coletados e Estatística Descritiva - Casos de Uso (PLUS e SMarty 5.0).	68
Tabela 4.5	Correlação de Spearman entre a Efetividade da Abordagem X e Y o Nível de Conhecimento em LPS.	72
Tabela 4.6	Resultados Coletados e Estatística Descritiva - Classes (PLUS e SMarty 5.0).	74
Tabela 4.7	Ranque Mann-Whitney-Wilcoxon - Classes (PLUS/SMarty 5.0)	77
Tabela 4.8	Correlação de Spearman entre a Efetividade das Abordagens X e Y e o Nível de Conhecimento em LPS e Variabilidade dos Participantes.	80
Tabela 4.9	Resultados Coletados e Estatística Descritiva - Classes (PLUS/SMarty 5.1).	86
Tabela 4.10	Correlação de Spearman entre a Efetividade das Abordagens X (PLUS) e Y (SMarty 5.1) e o Nível de Conhecimento em LPS e Variabilidades dos Participantes.	89
Tabela 4.11	Resultados Coletados e Estatística Descritiva - Sequência.	93
Tabela 4.12	Ranque Mann-Whitney-Wilcoxon - Sequência	96
Tabela 4.13	Correlação de Spearman entre a Efetividade das Abordagens X (Ziadi) e Y (SMarty 5.0) e o Nível de Conhecimento em LPS e Variabilidades dos Participantes.	97
Tabela 4.14	Resumo dos Resultados dos Estudos Experimentais Realizados.	99
Tabela 1.1	Bases de Busca.	131
Tabela 1.2	Strings de Busca por Base.	133
Tabela 1.3	Resultados Preliminares incluindo Repetidos.	133

Tabela 1.4	Resultados sem Estudos Duplicados.	134
Tabela 1.5	Estudos Seleccionados.	138
Tabela 1.6	Estudos Seleccionados.	141
Tabela 2.1	Bases de Busca.	154
Tabela 2.2	Strings de Busca por Base.	157
Tabela 2.3	Resultados Preliminares incluindo Repetidos.	157
Tabela 2.4	Resultados sem Estudos Duplicados.	157
Tabela 2.5	Estudos Seleccionados.	161

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Contextualização	14
1.2	Motivação	15
1.3	Objetivos	16
1.4	Metodologia de Desenvolvimento de Pesquisa	17
1.5	Organização do Trabalho	18
2	Fundamentação Teórica	20
2.1	Considerações Iniciais	20
2.2	Perfis UML e Modelos de Sequência	21
2.2.1	Fundamentos sobre Perfis UML	21
2.2.2	Modelos de Sequência	22
2.3	Linha de Produto de Software	26
2.4	Gerenciamento de Variabilidade	27
2.4.1	Caracterização de Variabilidade	28
2.4.2	O Método PLUS	28
2.4.3	A Abordagem de Ziadi et al.	31
2.4.4	A Abordagem SMarty 4.0	34
2.5	Considerações Finais	42
3	Extensão da Abordagem SMarty 4.0 para Modelos de Sequência	44
3.1	Considerações Iniciais	44
3.2	Extensão do SMartyProfile 4.0	45
3.3	Novas Diretrizes para o SMartyProcess	51
3.4	Consideração Finais	52
4	Avaliação Experimental da Abordagem SMarty 5.0	54
4.1	Considerações Iniciais	54
4.2	Metodologia e Planejamento Experimental	55
4.2.1	Definição dos Estudos Experimentais	59
4.2.2	Planejamento dos Estudos Experimentais	61
4.2.3	Execução dos Estudos Experimentais	64
4.3	Efetividade de SMarty 5.0 para Modelos de Casos de Uso	67
4.3.1	Análise e Interpretação dos Resultados para Caso de Uso	67
4.3.2	Efetividade das Abordagens para Casos de Uso	68

4.3.3	Correlação entre a Efetividade e o Nível de Conhecimento dos Participantes para Casos de Uso	71
4.4	Efetividade de SMarty 5.0 para Modelos de Classes	73
4.4.1	Análise e Interpretação dos Resultados para Classes	73
4.4.2	Efetividade das Abordagens para Classes (Q.P.1)	75
4.4.3	Correlação entre a Efetividade em Classes e o Nível de Conhecimento dos Participantes (Q.P.2)	79
4.4.4	Evolução da Abordagem SMarty 5.0	81
4.4.5	Efetividade de SMarty 5.1 para Modelos de Classes	84
4.5	Efetividade de SMarty 5.0 para Modelos de Sequência	92
4.5.1	Análise e Interpretação dos Resultados para Modelos de Sequência	92
4.5.2	Efetividade das Abordagens para Modelo de Sequência (Q.P.1)	93
4.5.3	Correlação entre a Efetividade e o Nível de Conhecimento dos Participantes em Modelos de Sequência (Q.P.2)	97
4.6	Análise e Interpretação dos Resultados Gerais	99
4.7	Avaliação de Validade do Conjunto de Estudos Experimentais	102
4.7.1	Ameaças à Validade de Conclusão	102
4.7.2	Ameaças à Validade de <i>Constructo</i>	103
4.7.3	Ameaças à Validade Interna	103
4.7.4	Ameaças à Validade Externa	105
4.8	Apresentação e Empacotamento dos Estudos Experimentais	105
4.9	Consideração Finais	105
5	Conclusão	107
5.1	Contribuições	109
5.2	Limitações	113
5.3	Trabalhos Futuros	115
	REFERÊNCIAS	117
A	Apêndice A - Mapeamento Sistemático sobre Variabilidade em Modelos de Sequência	126
A.1	Introdução	126
A.2	Definição das Questões de Pesquisa	128
A.2.1	Questões de Pesquisa	129
A.2.2	Refinamento das Questões de Pesquisa	129
A.2.3	CrITÉrios de Inclusão e Exclusão	131

A.3	Condução da Busca por Estudos Primários	132
A.4	Seleção de Estudos Primários baseada em Critérios de Inclusão e Exclusão	133
A.5	Classificação dos Estudos Primários	137
A.6	Extração dos Resultados e Agregação	140
A.6.1	Estudos Seleccionados	141
A.6.2	Síntese Teórica dos Estudos Seleccionados	142
A.7	Limitações	148
A.8	Conclusões	148

B Apêndice B - Avaliação Experimental de Abordagens de Gerenciamento de Variabilidade: um Mapeamento Sistemático **151**

B.1	Introdução	152
B.2	Definição das Questões de Pesquisa	152
B.2.1	Questão de Pesquisa	153
B.2.2	Refinamento da Questão de Pesquisa	153
B.2.3	Critérios de Inclusão e Exclusão	154
B.3	Condução da Busca por Estudos Primários	156
B.4	Seleção de Estudos Primários baseada em Critérios de Inclusão e Exclusão	157
B.5	Classificação dos Estudos Primários	159
B.6	Extração dos Resultados e Agregação	160
B.6.1	Estudos Seleccionados	161
B.6.2	Síntese Teórica dos Estudos Seleccionados	161
B.7	Limitações	162
B.8	Conclusões	162

Introdução

1.1 Contextualização

O panorama competitivo das companhias de desenvolvimento de software está mudando e se intensificando. O tamanho e a complexidade dos sistemas estão crescendo em paralelo a velocidade que a inovação, de modo geral, acelera. Além disso, os clientes se tornam cada vez mais exigentes, ampliando a demanda por produtos altamente customizáveis (Capilla et al., 2013). A entrega de tais produtos dificulta a inserção de indústrias em posições competitivas, principalmente as que estão limitadas ao processo de desenvolvimento singular de software (Capilla et al., 2013; Linden et al., 2007).

Desponta-se assim, na última década, a utilização da noção de Linha de Produto de Software (LPS) para proporcionar um conjunto de práticas de trabalho que permitam a estas empresas, aumentarem a quantidade de recursos de pesquisa e desenvolvimento (P&D)¹ focados em funcionalidades altamente diferenciadas e, conseqüentemente, diminuir os investimentos em funcionalidades comuns (Capilla et al., 2013). LPS permite que uma família de produtos compartilhe um repositório central, denominado núcleo de artefatos, enquanto apoia a instanciação de funcionalidades específicas de produtos sob esse repositório (Pohl et al., 2005).

Entre os diversos benefícios proporcionados pela adoção de LPS estão: a redução de custo e do tempo no processo de desenvolvimento, a diminuição de riscos e de perdas e do *time to market*, justificando o retorno de investimento (Pohl et al., 2005). O *Hall of Fame* do *Software Engineering Institute* (SEI) (SEI, 2012b), destaca tais benefícios por

¹Do termo em inglês *research and development* (R&D)

meio de dados quantitativos que indicam: melhorias na produtividade em uma escala de 10x; melhoria na qualidade, em 10x; redução de custos em até 60%; redução em até 87% do trabalho empregado no desenvolvimento; diminuição em até 98% do *time to market*; e a possibilidade de inserção em novos mercados em meses, em vez de anos.

Logo, a adoção bem sucedida de LPS fornece uma significativa oportunidade para as companhias melhorarem suas posições competitivas, decorrentes dos benefícios supracitados. No entanto, como apontado por Capilla et al. (2013), em algumas companhias, há sucesso inicial na adoção de LPS, porém no decorrer de um curto espaço de tempo esses benefícios são reduzidos, tornando a adoção dispendiosa. Esse dispêndio está relacionado principalmente a falhas no gerenciamento sistemático de variabilidades.

O gerenciamento de variabilidades em LPS é fator crítico a ser tratado para que a adoção dessa abordagem forneça e mantenha posição competitiva e vantagens significativas para as organizações que dela fazem uso (Capilla et al., 2013; Pohl et al., 2005).

A atividade de gerenciamento de variabilidades tem como objetivo a identificação, representação e o rastreamento de variabilidades de uma LPS. Devido à sua importância para LPS, diversas propostas vêm sendo apresentadas pela literatura (Chen et al., 2009; Galster et al., 2013). Entre tais abordagens para o gerenciamento conciso de variabilidades, há destaque para as baseadas na linguagem de modelagem unificada (UML), como por exemplo, o método PLUS (Gomaa, 2004), a abordagem de Ziadi et al. (2003a), a abordagem de Halmans e Pohl (2003).

A abordagem *Stereotype-based Management of Variability* (SMarty), em sua versão 4.0 (Fiori et al., 2012; Oliveira Junior et al., 2010a, 2013) permite o gerenciamento de variabilidade por meio de um perfil UML e de um processo composto por atividades e diretrizes bem definidas para identificar, representar e rastrear variabilidades em modelos UML de uma LPS utilizando estereótipos propostos em seu perfil.

1.2 Motivação

O sucesso da adoção de LPSs pela indústria está relacionada à atividade de gerenciamento de variabilidades. SMarty vem sendo consolidada nos últimos anos, com base na sua adoção por diversos projetos e trabalhos acadêmicos, como em Rodrigues et al. (2012), Oizumi et al. (2012), Contieri Junior et al. (2011) e Fragal et al. (2013) e a presença de um Perfil UML 2.0 e um processo sistemático a diferencia das demais abordagens existentes, porém não há evidências empíricas que indicam que SMarty se mostra mais efetiva na atividade de gerenciamento de variabilidade.

Além da inexistência de evidências empíricas do quão efetiva é SMarty, a literatura existente é incipiente quanto a resultados empíricos sobre a efetividade de abordagens para gerenciamento de variabilidades em LPSs baseadas em UML (Apêndice B). Tais evidências são fundamentais para que a indústria possa adotar abordagens adequadas para gerenciar variabilidades em LPS, pois a indústria, segundo Mafra e Travassos (2005), ainda apresenta imaturidade quanto à escolha de processos e tecnologias, gerando incertezas e falta de credibilidade nos engenheiros de software, quando relacionados a novas propostas e à adoção de tecnologias emergentes. E ainda, a lacuna entre pesquisa e prática, na utilização de tais abordagens, as colocam em questionamento quanto sua real efetividade (Chen et al., 2009; Galster et al., 2013).

Outro fator de importância para abordagens de gerenciamento de variabilidades em LPSs baseadas em UML é a possibilidade de permitirem gerenciar as variabilidades em modelos com diferentes níveis de abstração e permitir o rastreamento entre tais níveis e modelos. SMarty, diferentemente de outras abordagens existentes, permite que variabilidades possam ser identificadas e representadas em modelos UML de casos de uso, classes, componentes e atividades. Porém, percebe-se a necessidade de gerenciar variabilidades em modelos comportamentais da UML, com maior nível de detalhes, como o diagrama de sequência, já que tais modelos são de fundamental importância para LPSs nos processos de negócio e são pouco explorados em abordagens presentes na literatura.

1.3 Objetivos

Considerando o contexto e a motivação apresentados nas seções anteriores este trabalho tem como objetivo principal validar experimentalmente a abordagem SMarty no que tange o gerenciamento de variabilidades para modelos de caso de uso, classes e para a nova extensão de sequência da UML, desenvolvida neste trabalho.

Para que o objetivo principal deste trabalho seja alcançado, são listados a seguir os objetivos específicos:

- planejar e conduzir um mapeamento sistemático sobre abordagens de gerenciamento de variabilidades em modelos de sequência da UML;
- estender SMarty permitindo a identificação, representação e rastreamento de variabilidades em modelos de sequência da UML;
- planejar e conduzir um mapeamento sistemático sobre validação experimental de abordagens de gerenciamento de variabilidades para comparação com resultados

obtidos nos estudos empíricos desenvolvidos, bem como identificar possíveis contribuições para melhoria no processo experimental utilizado;

- planejar e conduzir um conjunto de experimentos para analisar a efetividade de SMarty no gerenciamento de variabilidades em casos de uso, classes e sequência; e
- analisar a necessidade de evolução de SMarty com base nos resultados obtidos nos experimentos realizados.

1.4 Metodologia de Desenvolvimento de Pesquisa

Para o desenvolvimento deste projeto de mestrado foi adotado como metodologia de trabalho o estudo de referencial teórico, por meio de revisão bibliográfica e mapeamentos sistemáticos, para a promoção da extensão da abordagem SMarty em modelos de sequência, além de experimentos propostos, conforme a Figura 1.1.

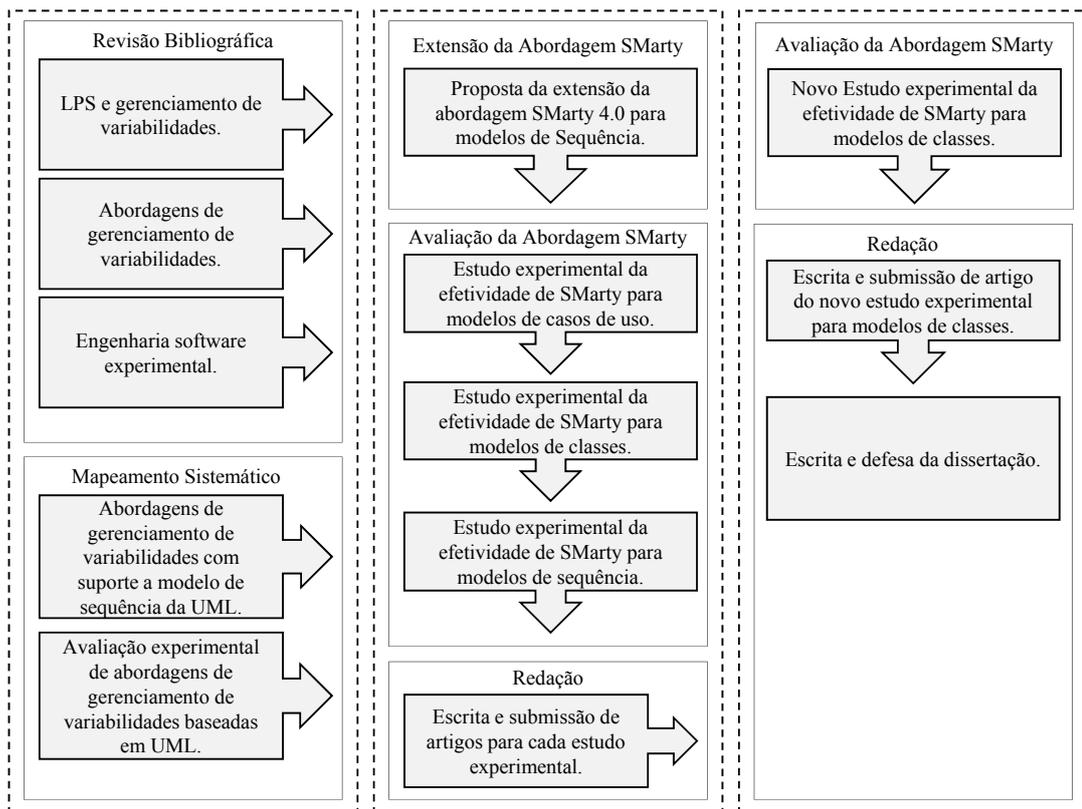


Figura 1.1: Etapas da Metodologia de Desenvolvimento.

- **Revisão Bibliográfica:** envolve o estudo dos temas sobre LPS, gerenciamento de variabilidades, abordagens de gerenciamento de variabilidade com enfoque em

abordagens baseadas em UML, e conceitos e procedimentos da engenharia de software experimental quanto à avaliação empírica.

- **Mapeamento Sistemático:** condiz com a realização de mapeamento sistemático nos principais mecanismos de busca sobre (i) (Apêndice A) abordagens de gerenciamento de variabilidades com suporte a modelos de sequência da UML, criando uma base de referencial teórico para a proposta da extensão de sequência e a identificação de abordagens significativas para avaliação junto a SMarty nos estudos empíricos e, (ii) (Apêndice B) mapeamento sobre avaliação experimental de abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML, para identificar possíveis contribuições para os estudos empíricos com objetivo de avaliar a efetividade da abordagem SMarty e também para serem comparados aos resultados obtidos nos estudos desenvolvidos.
- **Extensão da Abordagem SMarty:** refere-se à proposta de extensão de SMarty 4.0 para modelos de sequência, e a seleção de uma abordagem para análise de efetividade, utilizando-se dos resultados do mapeamento sistemático realizado.
- **Avaliação da Abordagem SMarty:** trata dos estudos empíricos conduzidos com a finalidade de validar SMarty em relação aos modelos de casos de uso, classes e sequência.

Os estudos foram projetados e conduzidos, seguindo os modelos sugeridos em (Briand et al., 2001; Juristo e Moreno, 2001; Perry et al., 2000; Wohlin et al., 2012).

- **Redação:** consiste na escrita da dissertação e de artigos, bem como a respectiva defesa da dissertação e submissão dos estudos empíricos realizados, como o estudo de Marcolino et al. (2013), referente à avaliação experimental para modelos de casos de uso.

1.5 Organização do Trabalho

Nesse capítulo foram apresentados o contexto no qual esta dissertação está inserida, motivação, objetivos e a metodologia de desenvolvimento de pesquisa. O Capítulo 2 apresenta os conceitos básicos sobre UML e modelos de sequência, sobre LPS e gerenciamento de variabilidade, o método PLUS e a abordagem SMarty 4.0. No Capítulo 3 é apresentada a proposta de extensão de SMarty. O Capítulo 4 descreve o conjunto de validações experimentais conduzidas para a versão 5.0 de SMarty. No Capítulo 5,

são apresentadas as conclusões, as dificuldades e limitações observadas e, direções para trabalhos futuros.

Fundamentação Teórica

2.1 Considerações Iniciais

A existência de várias abordagens de gerenciamento de variabilidade na literatura faz com que diferentes ferramentas e metodologias sejam utilizadas para a representação de elementos que compõem a variabilidade. Existem abordagens baseadas em modelos de características (Kang et al., 1990), as que definem uma linguagem de domínio específica¹ (DSL) (Linden et al., 2007) e as que utilizam notações conhecidas, como a UML (Gomaa, 2004; Heymans e Trigaux, 2003; Ziadi et al., 2003a).

Neste trabalho são consideradas somente aquelas abordagens que se baseiam na UML. Logo, os conceitos básicos sobre UML são necessários para o entendimento de como a linguagem é utilizada por tais abordagens.

Os conceitos básicos que norteiam o desenvolvimento de LPS e de sua atividade de gerenciamento de variabilidades são também fundamentais para o entendimento do trabalho desenvolvido.

Assim, neste capítulo apresenta-se a fundamentação teórica elementar para a compreensão dos conceitos utilizados no projeto de extensão de SMarty, bem como os fundamentos sobre LPS, variabilidade e as abordagens consideradas neste trabalho.

¹do termo em inglês *domain specific language*

2.2 Perfis UML e Modelos de Sequência

A linguagem de modelagem unificada (UML) é uma notação padronizada, amplamente aceita, que expressa em seus modelos representações que auxiliam no processo de desenvolvimento de software (OMG, 2011b).

Os fundamentos quanto à UML e a sua forma de extensão semântica por meio de perfis, além da sua especificação quanto ao modelo de interação de sequência, considerados no desenvolvimento deste trabalho, são apresentados a seguir.

2.2.1 Fundamentos sobre Perfis UML

A linguagem UML 2.0 é amplamente definida com base em seu metamodelo. Um modelo UML é uma instância do metamodelo que descreve a UML. Por exemplo, quando usamos uma ferramenta de modelagem UML é criado um diagrama com vários casos de uso, cada caso de uso é uma instância da metaclassa *UseCase*. A partir do metamodelo UML é possível criar novos elementos de modelagem por meio de mecanismos de extensão (Weilkiens e Oestereich, 2010).

Mecanismos de extensão, como o próprio nome diz, referem-se a maneiras de ampliar semanticamente a UML por meio do seu metamodelo, visando atender novas especificações. Uma forma de estender a UML é por meio de um perfil UML (*UML profile*) que é composto por estereótipos (*stereotype*), meta atributos (*tagged values*) e restrições (*constraint*), como ilustrado na Figura 2.1.

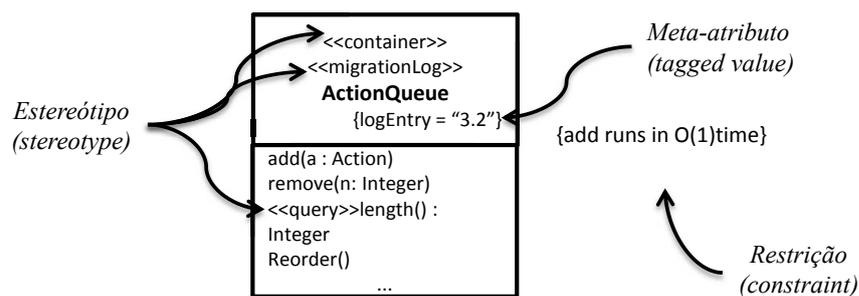


Figura 2.1: Elementos para a Extensão da UML por meio de Perfis (OMG, 2011b)

Um estereótipo estende o vocabulário da UML adicionando semântica a um ou mais modelos UML. A extensão é totalmente controlada e não permite que a UML seja estendida de forma arbitrária, fugindo à sua padronização (Weilkiens e Oestereich, 2010). Como exemplos de perfis UML temos: SysML (OMG, 2010), SPEM (OMG, 2008) e *Testing Profile* (UTP) (OMG, 2013).

Os estereótipos descrevem como uma metaclassa pode ser estendida, permitindo a integração de uma terminologia ou notação de uma plataforma de domínio específico à UML. Tais estereótipos são classificados como uma classe especial, e pode possuir atributos e operandos. Os atributos de um estereótipo são chamados *tagged values* (OMG, 2011b; Weilkiens e Oestereich, 2010). Cada atributo recebe um valor que pode ser definido de acordo com sua restrição.

A extensão por estereótipos não ocorre por meio do relacionamento de generalização no metamodelo, e o mais importante, nenhum novo elemento é adicionado ao metamodelo existente da UML. O que ocorre é a possibilidade de um modelo UML ser anotado com o novo estereótipo (Weilkiens e Oestereich, 2010).

Um perfil UML é representado por um pacote que importa um metamodelo referenciado, anotado com o estereótipo <<profile>>. O pacote anotado do perfil contém os novos estereótipos.

A aplicação de um perfil a um projeto UML ocorre na forma de um relacionamento entre pacotes do projeto e um perfil. Deste modo, o usuário pode aplicar os estereótipos do perfil aos elementos UML do projeto (Weilkiens e Oestereich, 2010).

O conceito de perfil é utilizado pela abordagem SMarty (Seção 2.4.4), para permitir a inclusão de semântica necessária para a identificação e a representação de variabilidades em modelos UML. É por meio desse mesmo mecanismo de extensão, que a sua versão 5.0 para suporte a modelos de sequência da UML é proposta (Capítulo 3).

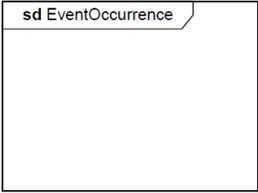
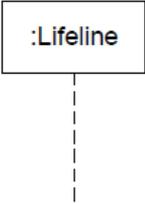
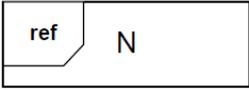
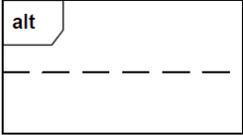
2.2.2 Modelos de Sequência

Segundo a OMG (2011b), o modelo mais comum de diagrama de interação é o diagrama de sequência, que expressa a troca de mensagens entre *lifelines*, que representam os objetos que participam de uma interação, conforme ilustrado na Tabela 2.1.

Os diagramas de sequência descrevem uma interação focando na ordem em que as mensagens são trocadas, junto com a especificação de suas ocorrências (*OccurrenceSpecifications*) sobre determinadas *lifelines*. O conjunto de elementos gráficos que compõem os diagramas de sequência são apresentados na Tabela 2.1, já as mensagens responsáveis pelas interações entre os diversos elementos representados são apresentados na Tabela 2.2.

As diversas interações presentes nos diagramas de sequência são realizadas por meio de notações gráficas denominadas caminhos (*paths*), esses elementos possibilitam exprimir as diferentes interações realizadas de um *lifeline* a outro, conectando-as e possibilitando a identificação do momento temporal em que ocorrerem (OMG, 2011b).

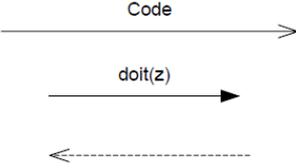
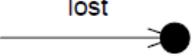
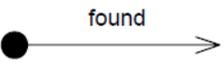
Tabela 2.1: Elementos Gráficos de Modelos de Sequência e suas Descrições (OMG, 2011b)

Elemento	Notação	Descrição
<i>Frame</i>		A notação apresenta uma moldura retangular onde o diagrama será introduzido, apresentando ainda o nome do diagrama no compartimento no canto superior esquerdo, em que “sd” significa <i>sequence program</i> .
<i>Lifeline</i>		Representa um objeto (triângulo) que realiza ou sofre interações dos demais objetos. A linha de vida (<i>lifeline</i>) é composta por duas partes, o triângulo denominado a “cabeça do objeto” (<i>headline</i>) e a linha vertical chamada de linha de tempo vida (<i>lifetime</i>) do objeto, e representa a vida do objeto durante a interação.
<i>InteractionUse</i>		Refere-se ao compartilhamento de uma interação entre outras interações. Permite interações múltiplas que fazem referência a uma interação que representa uma porção comum de sua especificação.
<i>CombinedFragment</i>		Define uma expressão de fragmentos de interação. Por meio de seu uso, permite a indicação de qual, ou quais, interações serão realizadas, com base em uma interação de operador e operandos. Na notação ao lado é apresentado o <i>CombinedFragment</i> com um dos diversos <i>InteractionOperator</i> , no caso “alt” que expressa uma escolha alternativa do tipo mutuamente exclusiva.
<i>Destruction Occurrence Specification</i>		A <i>DestructionOccurrence</i> representa a destruição de uma instância descrita por uma linha de tempo de vida (<i>lifetime</i>). Tal destruição pode resultar na eliminação subsequente das outras instâncias pertencentes à composição.

Os símbolos das Tabela 2.1 e Tabela 2.2 são utilizados na Figura 2.2, exemplificando um diagrama de sequência para a realização de transferência entre contas.

No diagrama ilustrado na Figura 2.2, o ator caixa (*teller*) inicia o processo de realização de transferência, por meio do método `doTransfer(saccountNo,taccountNo, amount)`, indicando como parâmetros neste, o número da conta do cliente que realiza a transferência (*saccount*), a conta de destino que receberá o valor transferido (*taccountNo*) e o montante. A classe controladora de transações nas contas, recebe as informações, localiza e valida as contas informadas por meio do método `findAccount()` e obtém o identificador para a transação (`getTransactionID()`).

Tabela 2.2: Caminhos Gráficos de Modelos de Sequência e suas Descrições (OMG, 2011b)

Tipo de Caminho	Notação	Descrição
<i>Message</i> (Mensagem)		As mensagens apresentam-se em diferentes formas, dependendo do tipo de mensagem que transmite. Na notação são apresentadas uma mensagem assíncrona, uma chamada e uma resposta, respectivamente. Estas representam mensagens completas, ou seja, as que são identificáveis tanto o remetente quanto destinatário.
<i>Lost Message</i> (Mensagem perdida)		Mensagens perdidas são mensagens com remetentes conhecidos, mas a recepção da mensagem não ocorre.
<i>Found Message</i> (Mensagem encontrada)		Mensagens encontradas, são mensagens recepcionadas, porém o envio da mensagem não é descrita na especificação.

Na sequência, representada pela interação 4, obtêm-se o saldo da conta de origem (`getBalance(saccountNo)`). O `CombinedFragment` rotulado “alt” indica uma estrutura de decisão, onde, de acordo com a expressão de guarda (`balance >= amount`), serão realizadas as interações de 6 a 10 ou, caso a comparação indique que o saldo não é maior ou igual ao montante indicado para a transferência, é executado o fluxo 11 e 12.

Os fluxos de 6 a 10 apresentam o saque da conta de origem (`withdraw()`), o depósito na conta de destino (`deposit()`) e apresenta a mensagem de confirmação da transferência (`setMsgm(“Transferring realized!”)`). Já o fluxo de 11 a 12, apresenta mensagem que o valor a ser transferido não está disponível (`setMsgm(“Amount not available!”)`) e cancela a transação `cancelTransaction(transactionID)`.

Nos `CombinedFragment` há a indicação do tipo de `interactionOperator` que é usado. Os diversos `interactionOperator` estabelecidos na notação UML são:

- **alt** representa que o `CombinedFragment` é composto por fluxos onde apenas um deve ser selecionado, ou seja, corresponde a uma alternativa mutuamente exclusiva;
- **opt** representa que o `CombinedFragment` é uma escolha, na qual apenas uma operação ocorre, ou nenhuma;
- **break** indica as interações que ocorrerão, caso ocorra a parada de um fluxo de operandos;

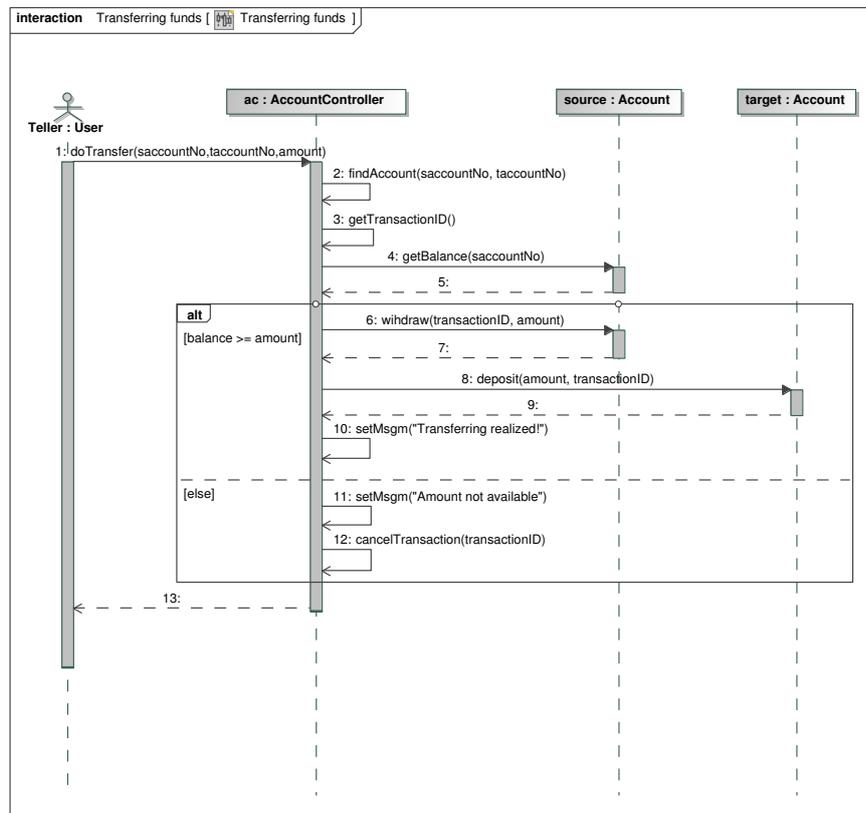


Figura 2.2: Exemplo Diagrama de Sequência – Transferência de Fundos

- **par** indica que o **CombinedFragment** representa uma mesclagem paralela entre comportamentos e operandos;
- **seq** representa uma ligação sequencial fraca entre comportamentos e operandos;
- **strict** designa uma sequência estrita entre comportamentos e operandos;
- **neg** designa que o **CombinedFragment** representa um percurso inválido;
- **critical** representa uma região crítica, na qual os traços da região não podem ser interrompidos por outros **CombinedFragment**;
- **Assert** Indica que a sequência dos operandos da *assertion* são os únicos que devem ser continuados, por serem os únicos válidos; e
- **loop** indica que o **CombinedFragment** representa um loop, ou seja, o operando será repetido um determinado número de vezes.

Logo, a característica que especifica cada um dos `interactionOperator` dos `Combined Fragment` permitem a utilização da própria semântica determinada em modelos de sequência da UML para o gerenciamento conciso de variabilidades em LPS. Assim, as demais seções deste capítulo representam conceitos sobre LPS e gerenciamento de variabilidades baseadas em UML.

2.3 Linha de Produto de Software

Uma linha de produto de software (LPS) é um conjunto de sistemas de software que compartilham características (*features*) comuns e gerenciáveis, que satisfazem as necessidades de um segmento particular ou de uma missão (Clements e Northrop, 2002; SEI, 2012a). Esse conjunto de sistemas é denominado também, família de produtos.

Os membros da família são produtos específicos desenvolvidos de maneira sistemática a partir da instanciação de uma infraestrutura comum de uma LPS, chamada núcleo de artefatos (*Core assets*) (SEI, 2012a).

O núcleo de artefatos é formado por um conjunto de características comuns (similaridades) e características variáveis (variabilidades) (Linden et al., 2007). O núcleo forma a base da LPS, e inclui a arquitetura de linha de produto (ALP), componentes reusáveis, modelos de domínios, requisitos da LPS, planos de testes e modelos de características e de variabilidades.

As variabilidades, inseridas no núcleo de artefatos, como mencionado previamente, indicam as características variáveis dos produtos que podem ser instanciados de um núcleo, logo correspondem aos diversos artefatos que são reutilizados. Estando, dessa maneira, associadas a diferentes níveis de abstração, dentre eles: a descrição da arquitetura, a documentação de projeto, o código fonte, o código compilado, o código ligado e o código executável (Capilla et al., 2013).

O SEI, por meio da iniciativa *Product Line Practice* (PLP) (SEI, 2012a), define três atividades essenciais em LPS, sendo estas: o desenvolvimento do núcleo de artefatos, correspondente à engenharia de domínio; o desenvolvimento do produto, referente à engenharia de aplicação; e o gerenciamento de linha de produto. A interação entre essas três atividades é representada na Figura 2.4.

Em síntese, a interação entre as três atividades, por meio dos círculos da Figura 2.4, indica que essas são interligadas e iterativas. A atividade de desenvolvimento do núcleo de artefatos (*Core Asset Development*) interage com a atividade de desenvolvimento dos produtos específicos (*Product Development*), gerando-os de forma sistemática, por



Figura 2.3: Atividades Essenciais de LPS, adaptado de (SEI, 2012a)

meio da atividade de gerenciamento (*Management*), que engloba a gerência técnica e organizacional.

O elemento mais importante do gerenciamento técnico é o gerenciamento de variabilidades, essencial ao sucesso na adoção de LPS (Capilla et al., 2013; Chen et al., 2009).

2.4 Gerenciamento de Variabilidade

O gerenciamento de variabilidades é composto por quatro sub-atividades: a identificação de variabilidade, a delimitação de variabilidade, a implementação de variabilidade, e por fim, o gerenciamento de variantes (Capilla et al., 2013; Chen et al., 2009).

Os principais conceitos sobre o gerenciamento de variabilidades e os elementos que compõem as variabilidades são apresentados a seguir.

2.4.1 Caracterização de Variabilidade

Segundo Weiss e Lai (1999), variabilidade é a forma como os membros de uma família de produtos podem se diferenciar entre si. Variabilidade é o que permite distinguir os diversos produtos de uma LPS. De acordo com Bosch (2004), variabilidade é a “habilidade de um software ou artefato ser modificado, personalizado ou configurado para uso em um contexto particular”.

As variabilidades surgem do adiamento de certas decisões do projeto de produtos de software. Se tomadas nas fases iniciais do projeto, se enquadram na abordagem tradicional de desenvolvimento. Quanto maior o número de decisões adiadas, maior será o número de variabilidades de um produto de software (Halmans e Pohl, 2003).

O adiamento da resolução das decisões de projeto, que assim permitem a especificação de variabilidades, leva à resolução posterior destas. Neste momento há a indicação da associação de uma ou mais variantes a determinado ponto de variação (Gurp et al., 2001). O tempo de resolução de uma variabilidade pode ser tempo de compilação, de ligação, de execução e de atualização (Linden et al., 2007).

A variabilidade é descrita por pontos de variação e variantes:

- **Ponto de variação** é a resolução de variabilidades em artefatos genéricos de uma LPS. De acordo com Jacobson et al. (Jacobson et al., 1997), “um ponto de variação identifica uma ou mais localidades nas quais a variação irá ocorrer”. Assim, um ponto de variação pode ocorrer em artefatos genéricos e em diferentes níveis de abstração; e
- **Variante** representa os possíveis elementos pelas quais um ponto de variação pode ser resolvido e também pode representar uma maneira de resolver uma variabilidade diretamente.

Para a resolução de um ponto de variação, mediante a seleção de uma ou mais variantes, existem as restrições entre variantes. Tais restrições definem os relacionamentos entre uma ou mais variantes, permitindo assim resolver um ponto de variação ou uma variabilidade (Linden et al., 2007), em seu devido tempo de resolução.

2.4.2 O Método PLUS

O método *Product Line UML-based Software Engineering* (PLUS), proposto por (Gomaa, 2004), permite o desenvolvimento de LPS por meio da sua integração a outros modelos

de processo de software, como o processo de desenvolvimento unificado (*Rational Unified Process*).

Gomma faz uma divisão das atividades de requisitos, análise e projeto para LPS no PLUS. As atividades de requisitos são divididas em: definição do escopo da LPS, modelagem de casos de uso e modelagem de características. As atividades de análise são divididas em: modelagem estática, construção de objetos, modelagem dinâmica, modelagem de máquina de estados finitos e análise de dependência de características/classes.

PLUS objetiva a modelagem explícita das características comuns e variáveis de uma LPS, por meio de atividades apoiadas por extensões UML, para modelos de casos de uso e classes.

Não há a definição de um perfil UML para o método PLUS, de modo que apresente a definição de meta-atributos e metaclasses presentes na UML. Inexiste também, um processo que forneça diretrizes para a aplicação dos seus estereótipos para a identificação de variabilidades em elementos UML.

Desse modo, PLUS utiliza estereótipos para a identificação de pontos de variação e variantes de acordo com o modelo da UML utilizado.

Os estereótipos utilizados pelo PLUS para a representação de variabilidades em casos de uso e classes são apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Estereótipos do Método PLUS (Gomaa, 2004).

Estereótipo	Definição	Suporta modelos de	
		Casos de uso?	Classes?
<<kernel>>	Usado para representar elementos obrigatórios.	Sim	Sim
<<optional>>	Usado para representar elementos opcionais que podem ser selecionados ou não, para um produto específico.	Sim	Sim
<<alternative>>	Usado para representar elementos alternativos, mutuamente exclusivos ou inclusivos.	Sim	Não

A Figura 2.4 apresenta um exemplo de aplicação do método PLUS para a LPS *e-Commerce*, proposta como estudo de caso por Gomaa (2004), para o modelo de casos de uso da UML.

A ilustração da Figura 2.4 indica, por meio de PLUS que os dois casos de uso, **Browse Catalog** e **Make Purchase Request**, iniciados pelo **Customer** são comuns a todos os sistemas de comércio eletrônico, logo eles são estereotipados como casos de uso obrigatório, recebendo assim o estereótipo <<kernel>>. De maneira similar, dois dos casos de uso iniciados pelo **supplier**, **Process Delivery Order** e **Confirm Shipment**, são comuns a todos os sistemas *e-Commerce*, e assim são estereotipados como <<kernel>>.

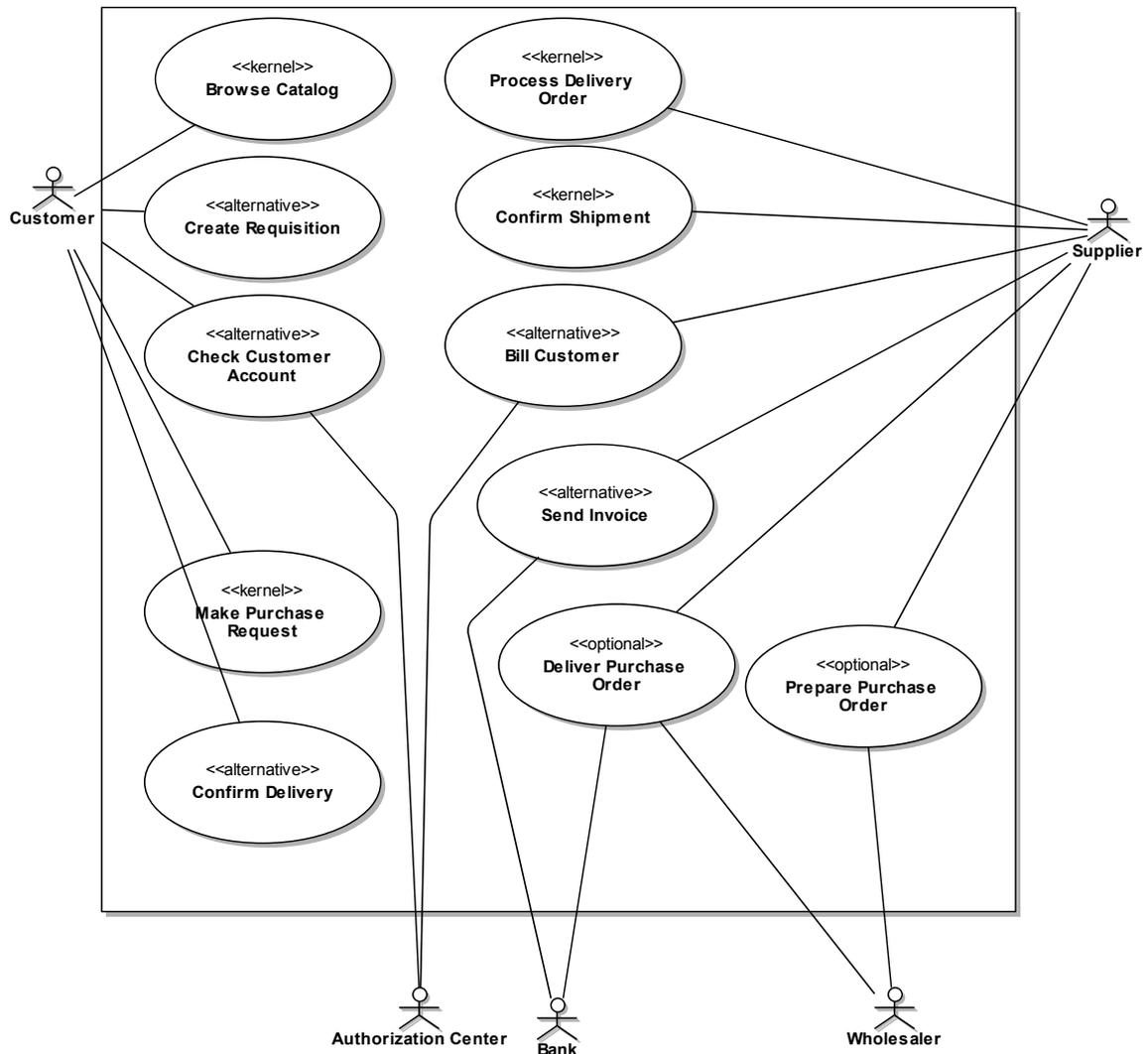


Figura 2.4: Representação da LPS *e-Commerce* em Modelo de Casos de Uso segundo o Método PLUS (Gomaa, 2004).

Na mesma figura, dois dos casos de uso do customer, *Create Requisition* e *Confirm Delivery* são usados apenas pelos sistemas onde as transações ocorrem apenas entre empresas (B2B), e um terceiro caso de uso, o *Check Customer Account* é utilizado apenas em sistemas onde as transações ocorrem entre empresa e cliente pessoa física (B2C). Assim, todos são estereotipados como `<<alternative>>`.

Para o caso de uso *Send Invoice*, do ator *supplier* é usado apenas em sistemas B2B, e o caso de uso *Bill Customer* é usado apenas em sistemas B2C, sendo, portanto, categorizados como `<<alternative>>`. Finalmente, os dois casos de uso *Prepare Purchase*

`Order` e `Deliver Purchase Order` são opcionais e podem ser usados em sistemas B2B e/ou B2C, recebendo o estereótipo `<<optional>>`.

Os casos de uso que podem ser utilizados apenas em sistemas B2B ou em sistemas B2C são estereotipados como casos de uso alternativos (`<<alternative>>`) e os casos de uso opcionais, os quais não possuem restrições, são anotados como casos de uso opcionais (`<<optional>>`).

PLUS é considerado um dos métodos mais difundidos na literatura para a representação de variabilidades. Conforme pode ser notado nos diversos estudos que o referenciam como os de Ryu et al. (2012), Nguyen (2009), Catal (2009), Nunes et al. (2009), Tawhid e Petriu (2008) e Foschiani et al. (2013). Assim, esse método utilizado para o desenvolvimento de LPSs como apresentado anteriormente, realiza o gerenciamento das variabilidades por meio de modelos UML de casos de uso e classes, e foi considerado neste trabalho para os respectivos experimentos, pelo seu reconhecimento junto à comunidade acadêmica e por apoiar tais modelos UML.

É importante indicar que outras abordagens existentes podem ser utilizadas, ao invés de PLUS, para a avaliação da efetividade junto a SMarty, uma vez que os experimentos projetados permitem a mudança dos instrumentos diretamente ligados as abordagens/métodos utilizados para a avaliação. No entanto, optou-se, neste trabalho de mestrado, o uso do Método PLUS.

2.4.3 A Abordagem de Ziadi et al.

Ziadi et al. (Ziadi et al., 2003a; Ziadi e Jezequel, 2006) propõem uma das mais representativas abordagens de gerenciamento de variabilidades para modelos de sequência da UML, obtidos por meio da condução de mapeamento sistemático apresentado no Apêndice A.

A abordagem de Ziadi et al. é composta de um perfil UML 2.0 que permite a integração com ferramentas UML, o que possibilita a representação de variabilidades para modelos de sequência. Há um conjunto de meta-atributos explícitos (*tagged values*) e metaclasses para permitir a anotação dos diversos elementos na representação de variabilidades.

Os estereótipos propostos por Ziadi et al. para modelos de sequência e classe da UML são apresentados na Tabela 2.4.

A Figura 2.5 ilustra a aplicação dos estereótipos da abordagem de Ziadi et al. para a LPS *Banking*, em modelos de sequência.

O diagrama de sequência `BankPL`, na Figura 2.5 apresenta um `CombinedFragment` do tipo “alt”, onde dois diagramas de sequência referenciados pelo `InteractionUse`

Tabela 2.4: Estereótipos da Abordagem de Ziadi et al (Ziadi e Jezequel, 2006).

Estereótipo	Definição	Suporta modelos de	
		Classes?	Sequência?
<<optionalLifeline>>	Usado para indicar <i>lifelines</i> alternativas ou opcionais.	Não	Sim
<<optionalInteraction>>	Usado para representar interações opcionais. Indica os elementos que podem ser selecionados ou não, para um produto específico.	Não	Sim
<<optional>>	Usado para representar elementos opcionais, como classes e pacotes, que podem ser incluídos ou não, em produtos específicos.	Sim	Não
<<variation>>	Usado para representar pontos de variação, que por sua vez estão relacionados a variantes inclusivas ou exclusivas.	Sim	Sim
<variant>>	Usado para representar variantes.	Sim	Sim
<<virtual>>	Usado para indicar quando uma interação representa uma situação específica em que o comportamento de um diagrama de sequência pode ser redefinido por outro diagrama de sequência.	Não	Sim

“ref”, o `ConvertFromEuro` e `ConvertToEuro`, representam uma variabilidade opcional estereotipadas com <<optionalInteraction>>. Logo, essas duas funcionalidades podem estar ou não presentes em sistemas de banco eletrônico.

O diagrama de sequência `WithdrawFromAccount` apresenta uma variabilidade composta pelo ponto de variação, representado pelo *frame* de nome `Withdraw`, sendo anotado como <<variation>>. Este ponto de variação é composto por duas variantes, a `WithdrawWithoutLimit` e a `WhitdrawWithLimit`, estas, por sua vez recebem o estereótipo <<variant>>. Nessa representação apenas uma das variantes poderá ser escolhida, caracterizando uma restrição mutuamente exclusiva.

A maior quantidade de estereótipos, expressam os diversos elementos de variabilidades existentes, o que pode permitir que os arquitetos de LPS possam gerar produtos específicos de modo não ambíguo com relação às restrições entre elementos de variabilidade.

Entretanto, por mais que a abordagem de Ziadi et al. demonstre um nível de representatividade significativo pelo número de elementos em seu perfil, há uma questão que dificulta seu uso.

O perfil UML 2.0 de Ziadi propõe um conjunto de estereótipos (Tabela 2.4), que como SMarty, estendem a semântica para modelos de classe e sequência, mas, com a restrição semântica proposta pelo mecanismo de extensão da UML, apenas a metaclasses estendida, e o elemento que esta representa pode receber o estereótipo criado. O problema ocorre devido aos elementos que foram estendidos, como, por exemplo, o elemento *Frame*, que dá

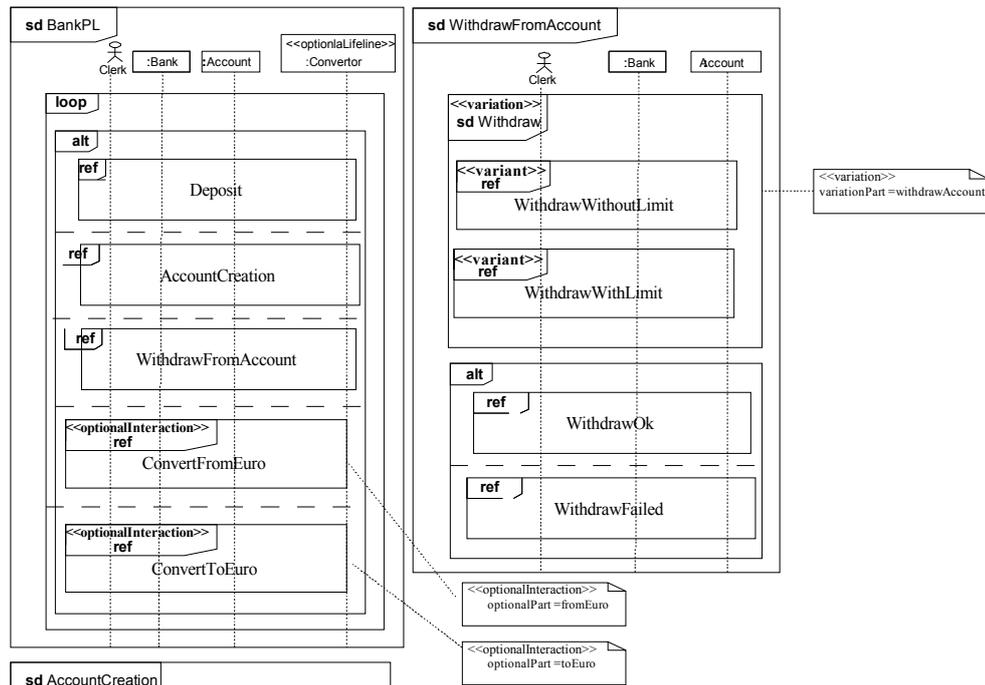


Figura 2.5: Excerto da Representação da LPS *Banking* em Modelo de Sequência segundo a Abordagem de Ziadi et al. (Ziadi e Jezequel, 2006).

origem aos *CombinedFragment* e *InteractionUse*, mas por si só não está presente para ser usado em diagramas de sequência.

A Figura 2.6 apresenta um diagrama de sequência de uma LPS de câmera digital, apresentada como exemplo para a aplicação do perfil de Ziadi et al.. A variabilidade *Store*, apresentada por um *Frame* (sd) recebe o estereótipo <<variation>>, e essa anotação é dificultada pela ausência de *frames* nas ferramentas UML.

A ausência do elemento *frame* percebida em ferramentas de modelagem conhecidas, como Poseidon 8.0², MagicDraw 11³ e Astah 6⁴. Desse modo, tal ausência dificulta o processo de representação das variabilidades em modelos de sequência, e também o uso de seu perfil como especificado por Ziadi et al.

Entretanto, a abordagem de Ziadi et al. foi considerada neste trabalho por ter um perfil especificado e estereótipos para modelos de sequência, o que outras abordagens não possuíam, e também, como mencionado previamente, por ter sido retornada por meio de mapeamento sistemático conduzido. Assim, a abordagem de Ziadi et al. contribuiu para

²<http://www.gentleware.com/>

³<http://www.nomagic.com/>

⁴<http://astah.net/>

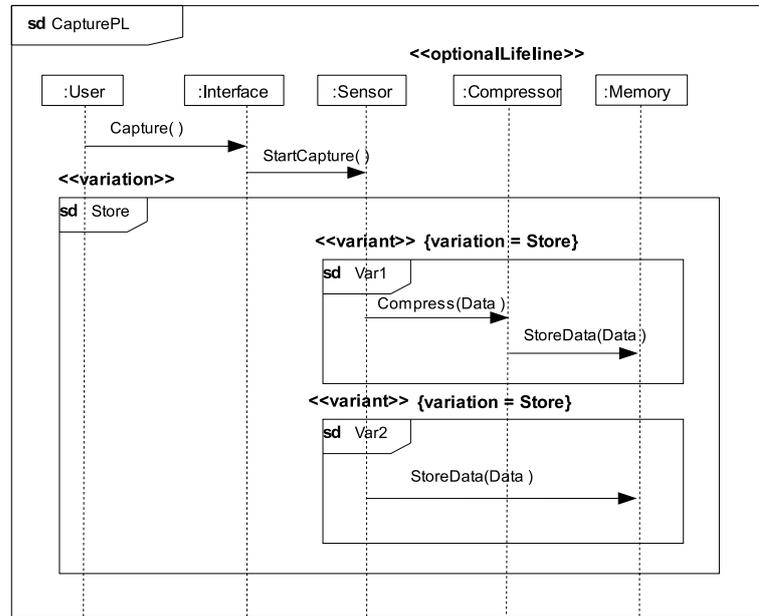


Figura 2.6: Diagrama de Sequência *Capture* (Ziadi et al., 2003a).

a extensão de SMarty para modelos de sequência e foi utilizada na avaliação de SMarty, nos experimentos executados para tais modelos.

É importante mencionar que, como o método PLUS, esta abordagem pode ser facilmente substituída por outra para a condução de avaliações experimentais futuras, mas devido sua identificação como mais relevante nas bases de busca, por meio do mapeamento sistemático, foi selecionada na avaliação experimental conduzida neste trabalho de mestrado.

2.4.4 A Abordagem SMarty 4.0

A abordagem *Stereotype-based Management of Variability (SMarty)*, proposta com base nos conceitos vistos sobre UML, LPS e variabilidades, possui suporte, em sua versão 4.0, a modelos UML de casos de uso, classes, atividades e componentes.

SMarty é composta de um perfil UML, o *SMartyProfile*, e do processo denominado *SMartyProcess*. SMarty tem como objetivo: permitir que as variabilidades de uma LPS possam ser gerenciadas de forma clara e explícita em modelos UML (Fiori et al., 2012; Oliveira Junior et al., 2010a, 2013); e guia o usuário por meio do *SMartyProcess* na identificação e representação de variabilidades em modelos UML de uma LPS.

O perfil *SMartyProfile* é formado por um conjunto de estereótipos e meta-atributos para representar variabilidades em modelos UML de LPS. Por meio da UML e seu mecanismo de perfil *SMarty* permite a representação explícita de variabilidades.

O *SMartyProcess* é um processo sistemático que guia o usuário na identificação, delimitação, representação, rastreamento de variabilidades e análise de configurações de produtos de uma LPS. Nele há um conjunto de diretrizes que permitem ao usuário a aplicação dos estereótipos do *SMartyProfile* de forma clara e objetiva.

O Perfil SMartyProfile

O *SMartyProfile* baseia-se no inter-relacionamento dos principais conceitos de LPS no que tange o gerenciamento de variabilidade (Seção 2.4). Tais conceitos são aplicados aos elementos de interesse do metamodelo da UML. Com base no relacionamento entre os conceitos de gerenciamento de variabilidade e os modelos UML, a Figura 2.7 apresenta o perfil UML *SMartyProfile* 4.0.

A seguir são elencados os estereótipos e meta-atributos (*tagged values*) que compõem o *SMartyProfile*:

- **<<variability>>** representa o conceito de variabilidade, sendo esta uma extensão da metaclassa UML *Comment*. É aplicado somente em notas UML. É composto dos seguintes meta-atributos:
 - **name**, o nome que referencia uma variabilidade;
 - **minSelection**, apresenta a quantidade mínima de variantes a serem selecionadas para resolver um ponto de variação ou variabilidade;
 - **maxSelection**, representa a quantidade máxima de variantes a serem selecionadas para resolver um ponto de variação ou variabilidade;
 - **bindingTime**, define o momento no qual uma variabilidade será resolvida. O tempo no qual ocorrerá está representado pela classe de enumeração *Binding-Time*;
 - **allowsAddingVar**, apresenta se há a possibilidade de inclusão de novas variantes após uma variabilidade ser resolvida;
 - **variants**, representa a coleção de instâncias associada à variabilidade; e
 - **realizes**, representa a coleção de variabilidades de modelos de nível inferior, que realiza a variabilidade.

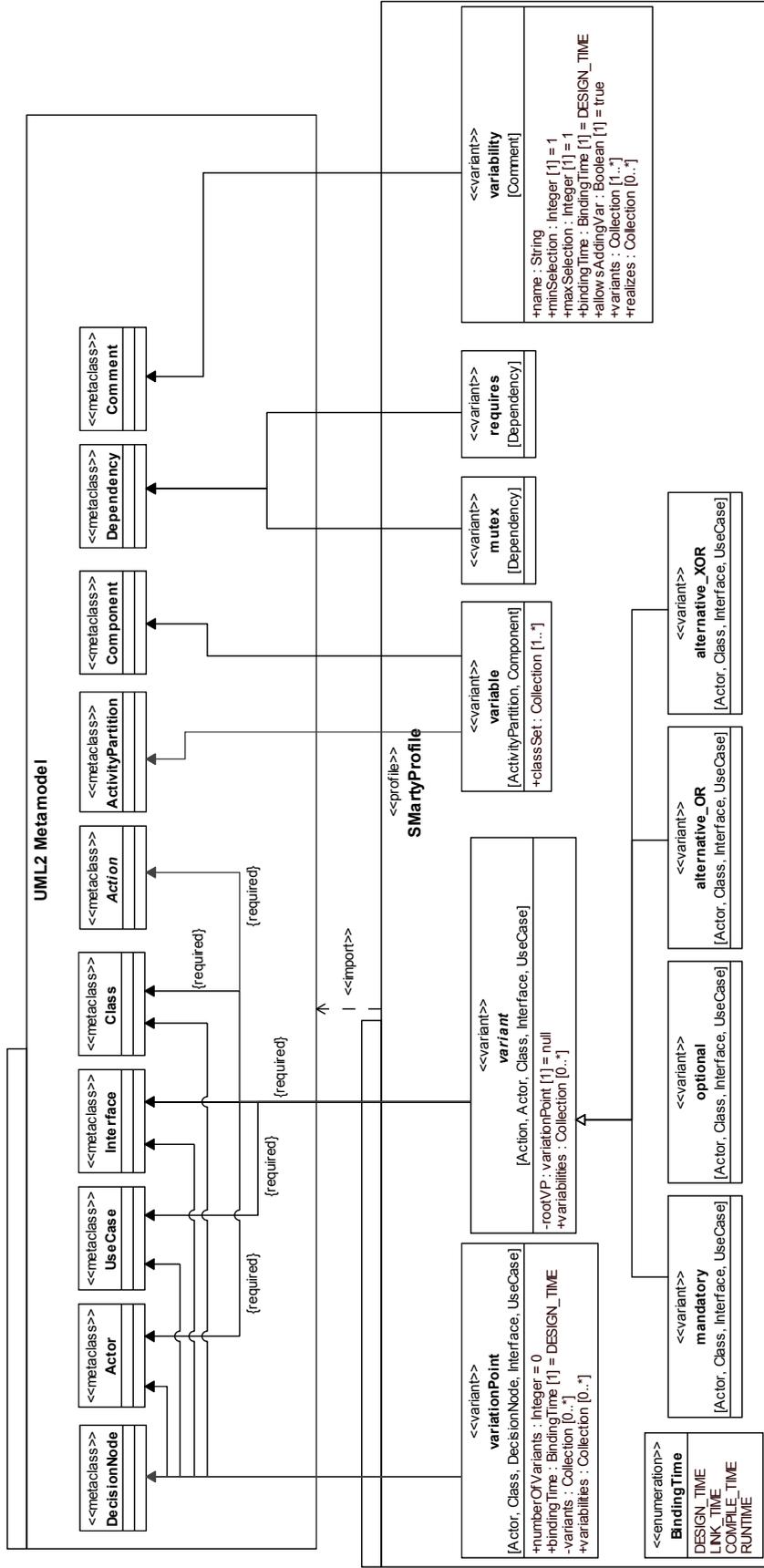


Figura 2.7: O Perfil SMartyProfile 4.0 com Suporte a Modelos de Casos de Uso, Classes, Componentes e Atividades (Fiori et al., 2012; Oliveira Junior et al., 2010a, 2013)

- **<<variationPoint>>** representa o conceito de ponto de variação e é uma extensão das metaclasses UML *DecisionNode*, *Actor*, *UseCase*, *Interface* e *Class*. Tal estereótipo aplica-se apenas a nós de decisão, atores, casos de uso, interface, classes e pacotes. É composto dos seguintes meta-atributos:
 - **numberOfVariants**, indica o número de variantes associadas que podem ser selecionadas para resolver esse ponto de variação;
 - **bindingTime**, especifica o momento no qual uma variabilidade deve ser resolvida. Esse tempo é representado pela classe de enumeração *BindingTime*;
 - **allowsAddingVar**, apresenta se há a possibilidade de incluir novas variantes após uma variabilidade ser resolvida;
 - **variants**, representa a coleção de instâncias associada à variabilidade; e
 - **realizes**, apresenta a coleção de variabilidades de modelos de menor nível de abstração que realiza a variabilidade.

- **<<variant>>** abrange o conceito de variante e é uma extensão abstrata das metaclasses UML *Actor*, *UseCase*, *Interface*, *Class*, *Action*, *ActivityPartition*, *Component*, *Dependency* e *Comment*. Trata-se de um estereótipo abstrato e não pode ser aplicado diretamente a nenhum elemento UML, entretanto, suas especializações não abstratas podem ser aplicadas em atores, casos de uso, interfaces, classes, ações, partição de atividade, componente, dependência, comentário, fragmento combinado, mensagem e pacotes. Suas especializações, não abstratas são: **<<mandatory>>**, **<<optional>>**, **<<alternative_OR>>** e **<<alternative_XOR>>**. O estereótipo **<<variant>>** é composto dos seguintes meta-atributos:
 - **rootVP**, representa o ponto de variação ao qual está associado; e
 - **variabilities**, coleção de variabilidades com as quais essa variante está associada;

- **<<mandatory>>** representa uma variante obrigatória que está presente em todos os produtos de uma LPS.
- **<<optional>>** representa uma variante que pode ser escolhida para resolver uma variabilidade ou um ponto de variação.
- **<<alternative_OR>>** representa uma variante que faz parte de um grupo de variantes inclusivas e assim, diferentes combinações dessas podem resolver pontos de variação de diferentes maneiras, gerando desse modo, produtos distintos.

- <<**alternative_XOR**>> simboliza uma variante que pertence a um grupo de variantes exclusivas, na qual apenas uma variante do grupo pode ser selecionada para resolver um ponto de variação.
- <<**mutex**>> simboliza o conceito de “exclusão mútua”, logo é um relacionamento mutuamente exclusivo entre variantes. Isso significa que para uma variante ser selecionada, a variante relacionada não pode ser selecionada.
- <<**requires**>> denota o conceito de restrição ”complemento” e é um relacionamento entre variantes, onde a variante escolhida requer outra variante relacionada.
- <<**variable**>> é uma extensão da meta classe UML *Component*. Este estereótipo indica que um componente é formado por um conjunto de classes com variabilidades explícitas. Este estereótipo possui o meta-atributo `classSet`, que é a coleção de instâncias das classes variáveis que forma o componente.

A grande vantagem de *SMarty*, mediante a outras abordagens é a extensão dos elementos que fazem parte do metamodelo da UML e, conseqüentemente, apoiada por ferramentas automatizadas que manipulam arquivos XML *Metadata Interchange* (XMI) contendo modelos UML.

Além disso, o perfil *SMartyProfile* se beneficia do conceito de pontos de extensão da UML em casos de uso, e de recursos próprios de cada modelo que suporta para representar relações entre pontos de variação e suas variantes. Ainda, a cardinalidade de variantes é representada na forma de um meta-atributo. Logo, a representação de variabilidades fica totalmente compatível com os metamodelos da UML e permite o apoio de ferramentas UML.

O Processo *SMartyProcess*

O *SMartyProcess* segue as atividades gerais relacionadas às especificadas no processo de desenvolvimento de LPS. (Pohl et al., 2005) (SEI, 2012a). Tal relacionamento pode ser observado por meio da Figura 2.8, em um diagrama de atividades da UML. Nela é possível observar o processo genérico de Desenvolvimento de Linha de Produto, representado pelas atividades alinhadas no lado esquerdo e o *SMartyProcess* representado pelas atividades do retângulo à direita (Oliveira Junior et al., 2005).

SMarty combina o *SMartyProfile* e o *SMartyProcess*, gerando uma abordagem guiada por diretrizes para gerenciar sistematicamente variabilidades de LPS.

O *SMartyProcess* é realizado pelo engenheiro de LPS e é um processo iterativo e incremental. Iterativo, pois ocorre após a execução de cada atividade do desenvolvimento

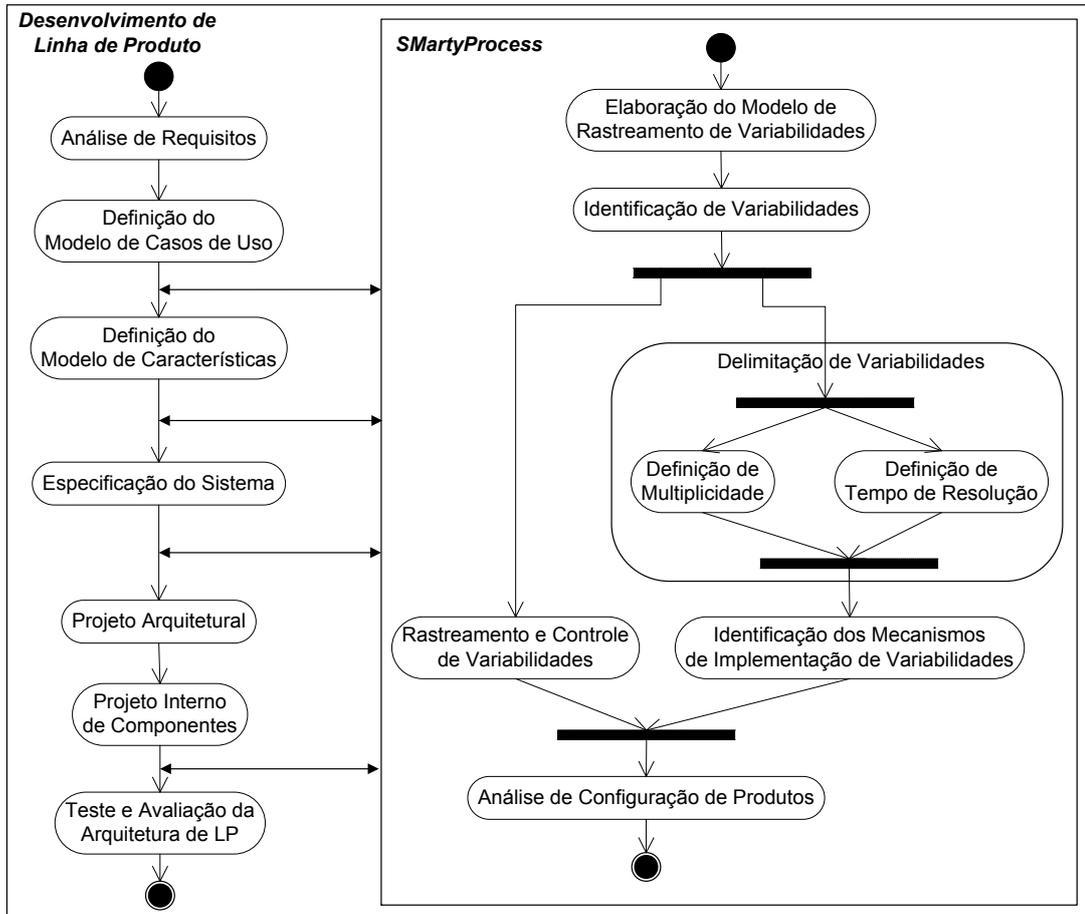


Figura 2.8: O Processo de Gerenciamento de Variabilidade e sua Interação com o Processo de Desenvolvimento de LPS traduzido de (Oliveira Junior et al., 2005)

de LPS e incremental, pois o número de variabilidades tende a crescer, à medida que as atividades do *SMartyProcess* são executadas.

O *SMartyProcess* utiliza-se de elementos do núcleo de artefatos de uma LPS, bem como o alimenta com outros. Por exemplo, os modelos de casos de uso e de classes alimentam o *SMartyProcess* e retornam para o núcleo com as variabilidades identificadas e representadas.

A cada ciclo de interação entre o Desenvolvimento de LPS e o *SMartyProcess*, a atividade de identificação de variabilidades recebe como entrada os modelos de casos de uso, classes, atividades e componentes. Por meio dessa atividade, identificam-se progressivamente as variabilidades associadas a esses modelos.

A identificação de variabilidades é uma atividade que depende do domínio, o que exige habilidade dos gerentes e analistas de LPS. Para que essa atividade possa ser realizada

e concretizada com sucesso o *SMartyProcess* fornece um conjunto de diretrizes (Fiori et al., 2012; Oliveira Junior et al., 2010a, 2013).

Diretrizes para Identificação e Representação de Variabilidade (RV)

Assim, para a identificação e a representação de variabilidades aplicando o *SMartyProfile*, as seguintes diretrizes do *SMartyProcess* podem ser seguidas:

- RV.1** Variabilidades com variantes opcionais (`optional`) possuem multiplicidade `minSelection=0` e `maxSelection=1`;
- RV.2** Variabilidades com variantes exclusivas (`alternative_XOR`) possuem multiplicidade `minSelection=maxSelection=1`;
- RV.3** Variabilidades com variantes inclusivas (`alternative_OR`) possuem multiplicidade `minSelection=1` e `maxSelection= size(variants)` em que `size(x)` é uma função que retorna a quantidade de elementos da coleção `x`;
- RV.4** O valor `bindingTime` deve ser definido escolhendo-se um dos valores da classe de enumeração `BindingTime`, que são: `DESIGN_TIME`, `LINK_TIME`, `COMPLETE_TIME`, `RUNTIME`;
- RV.5** O valor booleano do atributo `allowsAddingVar` deve ser analisado de acordo com a possibilidade de manter o ponto de variação aberto (`true`) ou fechado (`false`); e
- RV.6** O valor da coleção `variantes` é o conjunto formado pelas instâncias das variantes associadas ao ponto de variação ou variabilidade.

Diretrizes para Casos de Uso (UC)

- UC.1** Elementos de modelos de casos de uso relacionados aos mecanismos de extensão e de pontos de extensão sugerem pontos de variação com variantes associadas, as quais podem ser inclusivas ou exclusivas;
- UC.2** Modelos de casos de uso com o relacionamento de inclusão (`<<include>>`) ou associados a atores sugerem variantes obrigatórias ou opcionais;
- UC.3** Variantes que, ao serem selecionadas para fazer parte de um produto, exigem a presença de outra(s) determinada(s) variante(s) devem ter seus relacionamentos de dependência marcados com o estereótipo `<<requires>>`;
- UC.4** Variantes mutuamente exclusivas para um determinado produto devem ter seus relacionamentos de dependência marcados com o estereótipo `<<mutex>>`.

Diretrizes para Diagrama de Classes (CL)

- CL.1** Em modelos de classes, pontos de variação e as suas variantes são identificadas nos seguintes relacionamentos: a) generalização, os classificadores mais gerais são os pontos de variação, enquanto os mais específicos são as variantes; b) realização de interface, os **suppliers** (especificações) são os pontos de variação e as implementações (clientes) são as variantes; c) agregação, as instâncias tipadas com losangos não preenchidos são os pontos de variação e as instâncias associadas são as variantes; e d) composição, as instâncias tipadas com losangos preenchidos são os pontos de variação e as instâncias associadas são as variantes.
- CL.2** Elementos de modelos de classes, relacionados a associações nas quais os seus atributos **aggregationKind** possuem valor *none*, ou seja, não representam nem agregação, nem composição, sugerem variantes obrigatórias ou opcionais.
- CL.3** Variantes em modelos de classes, que ao serem selecionadas para fazer parte de um produto, exigem a presença de outra(s) determinada(s) variante(s) devem ter seus relacionamentos de dependência marcados com o estereótipo <<requires>>;
- CL.4** Variantes em modelos de classes, mutuamente exclusivas para um determinado produto devem ter seus relacionamentos de dependência marcados com o estereótipo <<mutex>>.

Diretrizes para Componentes (CP)

- CP.1** Componentes formados por classes com variabilidades são marcados com o estereótipo <<variable>>.

Diretrizes para Diagrama de Atividades (AT)

- AT.1** Elementos de modelos de diagramas de atividades como **DecisionNode** sugerem pontos de variação marcados com <<variationPoint>>, pois é um local formado explicitamente por possíveis caminhos para grupos de ações distintas;
- AT.2** Elementos **Action** dos diagramas de atividades podem ser definidos como variantes obrigatórias ou opcionais;
- AT.3** Elementos **Action** que representam fluxos alternativos de saída de um *Decision-Node* sugerem variantes alternativas inclusivas ou exclusivas;

AT.4 Elementos *ActivityPartition* que possuem elementos variáveis, *DecisionNode* como ponto de variação ou *Action* como variantes, devem ser marcados como `<<variable>>`, pois são compostos por elementos que sofrem algum tipo de variação.

Assim, SMarty 4.0 é resumida conforme apresentado na Figura 2.9. Nela podemos observar os modelos da UML suportados, bem como um resumo das diretrizes para cada modelo. As setas na Figura 2.9 indicam o processo incremental e iterativo entre o *SMartyProfile* e o *SMartyProcess*, garantindo a evolução e identificação de novas variabilidades por meio dos modelos UML apoiados pelas diretrizes.

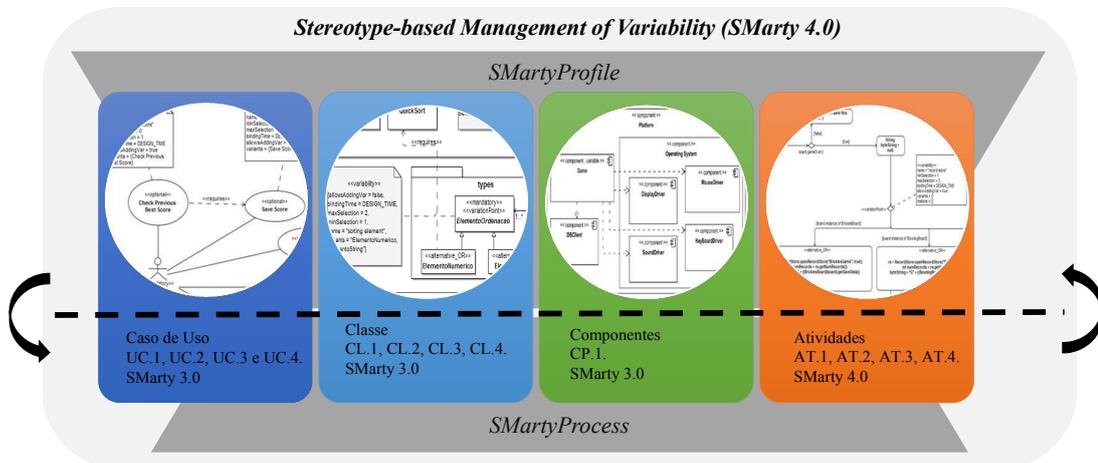


Figura 2.9: Visão Geral de SMarty 4.0.

2.5 Considerações Finais

Os fundamentos apresentados neste capítulo servem como base para a proposta de extensão de SMarty, além do entendimento do que é a abordagem em si, em sua versão 4.0, e também conduz ao entendimento dos estudos experimentais que foram executados.

A UML permite a representação dos elementos que expressam variabilidade em seus modelos, o que facilita o desenvolvimento e evolução de LPSs. O método PLUS, assim como SMarty 4.0, expressa por meio de mecanismos de extensão da UML, as variabilidades em modelos de casos de uso e classes.

Estudos relacionados à utilização de modelos de sequência foram recuperados por meio de um mapeamento sistemático (Apêndice A), para servir de apoio à extensão de SMarty 4.0. Além disso, a necessidade de identificar possíveis abordagens para gerenciamento de

variabilidades em modelos de sequência permitiu considerar a abordagem de Ziadi et al. para a avaliação de SMarty.

Destarte, tendo sido apresentado o referencial teórico necessário para o entendimento da abordagem SMarty e demais abordagens a serem conduzidas na avaliação experimental de sua efetividade, e também apresentado os elementos UML para modelos de sequência, a sua extensão é proposta no próximo capítulo, sendo conduzida em seguida para o conjunto de estudos empíricos para identificar a sua efetividade, juntamente com os demais modelos presentes na SMarty.

Extensão da Abordagem SMarty 4.0 para Modelos de Sequência

3.1 Considerações Iniciais

A UML, entre seus diversos modelos, apresenta os diagramas de interação, que se dividem em sequência e comunicação, sendo que cada um deles possui representação específica. Este descreve uma interação focando na sequência em que as mensagens são trocadas, junto com a especificação de suas ocorrências (*OccurrenceSpecifications*) sobre determinadas *lifelines* (Bezerra, 2007). Somente os modelos de classes de domínio e de caso de uso não são suficientes para apresentar uma visão completa do sistema para que a fase de implementação ocorra. Diversos aspectos ligados à solução a ser utilizada devem ser definidos, e tais modelos de interação permitem a representação de tais aspectos.

É na fase de projeto de uma interação, segundo Bezerra (2007) que tais definições são feitas, mais especificamente no detalhamento dos aspectos dinâmicos do sistema. E é neste momento que os diagramas de interação são utilizados, juntamente com o modelo de estados e, em alguns casos, por meio de modelos de atividades. Já o diagrama de colaboração, menos detalhado que o diagrama de sequência, foca na interação entre *lifetimes*, onde a arquitetura da estrutura interna é apresentada em uma visão macro, preocupando-se com as trocas de mensagens, sendo estas, sequenciadas por um esquema numérico.

A importância dos elementos e dos aspectos que os diagramas de sequência apresentam permitem a representação dos elementos que compõem as variabilidades, e assim, a

inclusão de tais representações como artefatos do núcleo de uma LPS. Segue assim, a proposta de extensão de SMarty 4.0 para apoiar modelos de sequência da UML, por meio do *SMartyProfile* e das diretrizes do *SMartyProcess*.

3.2 Extensão do SMartyProfile 4.0

Para a extensão do perfil de SMarty 4.0, foram identificados os elementos da UML que representem as restrições existentes entre as variabilidades, bem como os elementos candidatos a pontos de variação e variantes, conforme definidos na Seção 2.4 e na Seção 2.2.2.

CombinedFragment do tipo “alt” é definido na UML como um elemento que apresenta a possibilidade de execução de um único fluxo alternativo, entre vários. Essa definição vem ao encontro com a restrição que indica variantes mutuamente exclusivas (XOR). Assim, esse elemento foi selecionado para identificar pontos de variação e estendido para ser anotado com `<<variationPoint>>`.

As mensagens dos fluxos, que correspondem às variantes relacionadas ao ponto de variação expresso pelo **CombinedFragment** do tipo “alt”, são anotados como **variant**, permitindo a extensão semântica com o estereótipo `<<alternative_XOR>>`. A anotação com esse estereótipo apenas na primeira mensagem do fluxo visa maior legibilidade do modelo.

A Figura 3.1 apresenta um exemplo de identificação de um ponto de variação e de suas variantes mutuamente exclusivas, por meio do **CombinedFragment** do tipo “alt”. O fragmento de uma LPS é apresentado na Figura 3.1 corresponde a uma câmera fotográfica, que possui uma interface com usuário (**Interface**), o sensor de captura (**Sensor**), o compressor das imagens capturadas (**Compressor**) e a memória (**Memory**) onde tais imagens são armazenadas.

As mensagens **Capture()** e **StartCapture()** são obrigatórias, e por convenção, elementos obrigatórios não deverão receber estereótipos. O **CombinedFragment** com o **interactionOperator** “alt”, indica que apenas um fluxo pode ser selecionado para a execução, logo, uma câmera que possuir ambas as variantes; representadas no conteúdo do **CombinedFragment** estereotipado por `<<variationPoint>>`, e também especificado como variabilidade, pelo comentário UML (`<<variability>>`), poderá ter ou não a opção de compressão (mensagem **Compress(Data)**) de acordo com a solução para o ponto de variação.

Ainda no **CombinedFragment**, a primeira mensagem trocada internamente, em cada operando (**Var1** e **Var2**) são estereotipados de acordo com o tipo de variação que sofrem.

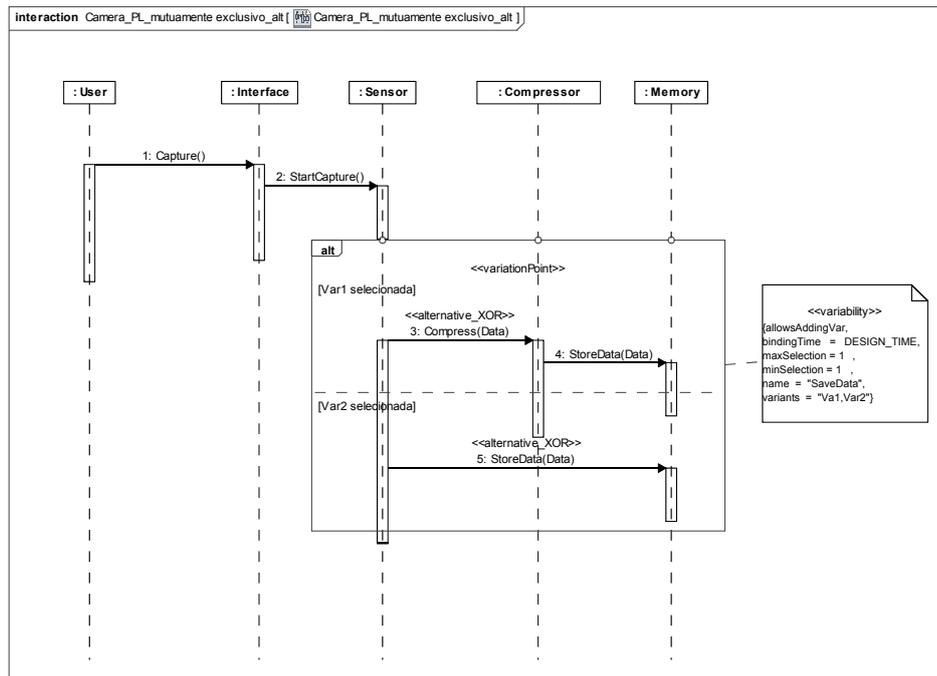


Figura 3.1: Exemplo de Modelo de Variabilidade em Diagrama de Sequência com SMarty (variante mutuamente exclusiva).

Neste exemplo de LPS, são estereotipadas como `<<alternativa_XOR>>`, assim, haverá somente uma variante selecionada para o ponto de variação. No exemplo, são apresentadas duas opções, mas poderiam ser inseridos um número arbitrário, maior que 1, de variantes. As variabilidades são identificadas por meio do comentário UML, estereotipada com `<<variability>>`, assim como nos demais modelos representados por SMarty.

As variantes opcionais são sugeridas por meio do elemento `CombinedFragment` com o `interactionOperator` “opt”, sendo anotados como `<<optional>>` e também nas situações em que um `lifeline` interage com outro `lifeline`, por meio de um único fluxo de mensagem que ocorram em uma única interação, recebendo também a anotação de `<<optional>>`.

O `CombinedFragment` com `interactionOperator` “opt”, segundo a UML, indica uma opção de escolha entre determinados fluxos. A possibilidade de utilizar o estereótipo `<<optional>>` para mensagens também foi incorporado em vez de usar `CombinedFragment` com “opt”.

A Figura 3.2 apresenta um exemplo de variante opcional em modelos de sequência, usando somente o estereótipo `<<optional>>`.

Na Figura 3.2 a compressão dos dados é modificada para atender uma nova LPS onde passa a ser considerada opcional. Assim, a mensagem `Compress(Data)` recebe o

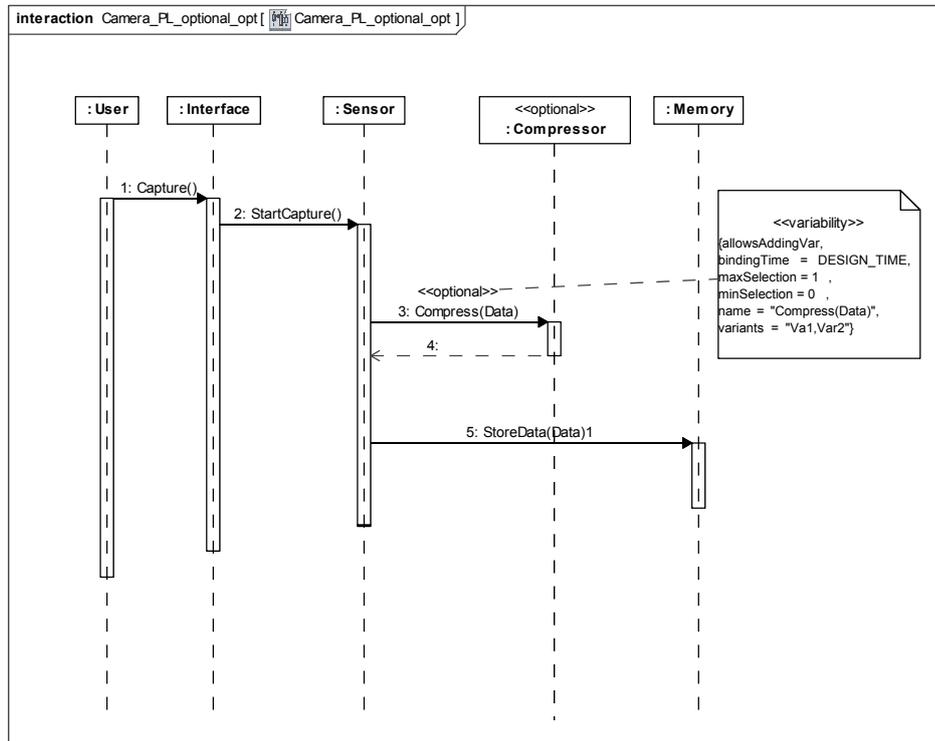


Figura 3.2: Exemplo Variante Opcional Anotado com <<optional>> em Modelos de Sequência SMarty.

estereótipo <<optional>> e está relacionada a um comentário da UML que define a variabilidade (<<variability>>).

O elemento **Compressor**, que está relacionado à variante opcional deve receber o estereótipo <<optional>>. Na existência de mais de um elemento representado por meio de uma *lifeline*, como o *Compressor*, e se estes também fizerem parte de uma variante opcional, deverão também, receber tal estereótipo.

A Figura 3.3 apresenta um exemplo de variante opcional com o elemento gráfico **CombinedFragment** com *interactionOperator* "opt". Nela observamos que o estereótipo é aplicado ao **CombinedFragment** e o comentário correspondente a variabilidade (<<variability>>) é relacionado a este elemento. Já o *lifeline* **Compressor** recebe, da mesma forma que a representação anterior, o estereótipo <<optional>>.

Assim, o usuário que já está familiarizado com os elementos padrões da UML pode continuar modelando os aspectos de variabilidade com tais elementos. Para os demais usuários, pode-se optar por usar a forma mais simples para representar elementos opcionais com o estereótipo <<optional>>.

Para a representação de variabilidades em termos de variantes do tipo inclusivas (OR) o elemento gráfico **interactionUse** "ref" é utilizado. Esse elemento indica o

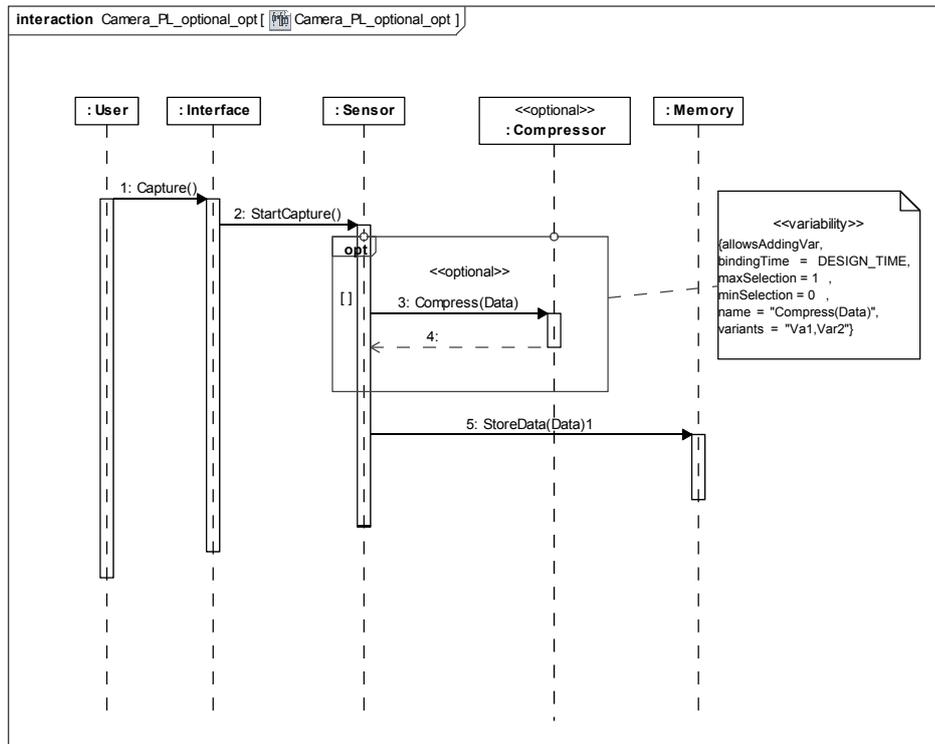


Figura 3.3: Exemplo 2 de Variante Opcional Anotado com <<optional>> em Modelos de Sequência SMarty.

compartilhamento de uma interação, referenciando assim um diagrama de sequência que pode ser utilizado em mais de um modelo. Assim, esse elemento foi selecionado para identificar variantes inclusivas, pois pode referenciar outros diagramas, por meio do meta-atributo **variants**.

Um exemplo de identificação de variantes inclusivas é apresentado na Figura 3.4 e na Figura 3.5. Como é possível notar, o diagrama de sequência principal (Figura 3.4) corresponde ao diagrama contendo uma variabilidade, bem como apresentado o **interactionUse** "ref" estereotipado como um ponto de variação. As duas variantes do ponto de variação são identificadas pelo meta-atributo **variants**, sendo elas: Var1 e Var2, ambas apresentadas na Figura 3.5.

É possível perceber que ambas as variantes (Figura 3.5) recebem o estereótipo apenas na primeira mensagem.

Assim, definidos os estereótipos e as metaclasses que foram estendidas do metamodelo da UML, a versão 5.0 do *SMartyProfile* pode ser vista na Figura 3.6. Em comparação com a Figura 2.7, percebe-se que os seguintes elementos do metamodelo padrão da UML foram estendidos: *Message*, *CombinedFragment*, *Lifeline* e *interactionUse*.

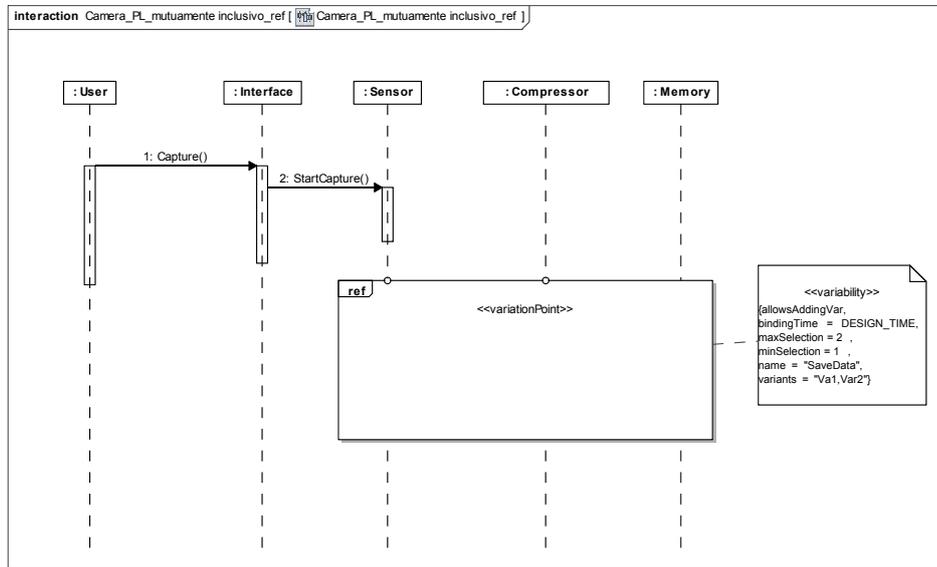


Figura 3.4: Exemplo de Modelo de Variabilidade em Diagrama de Sequência com SMarty (variante inclusiva).

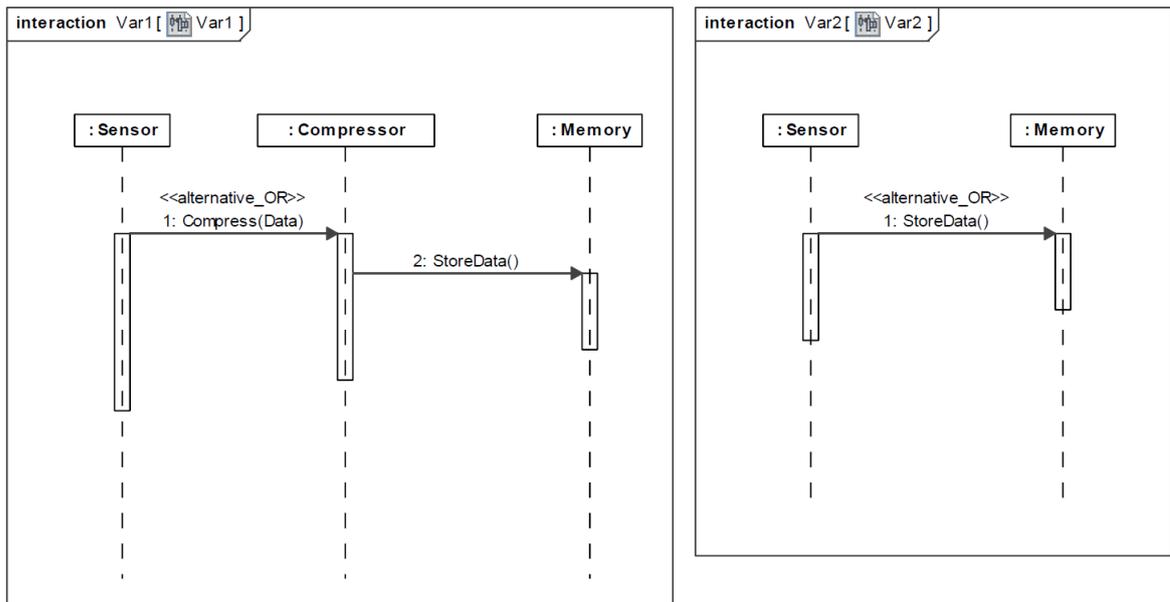


Figura 3.5: Var1 e Var2 - Variantes Alternativas Inclusivas.

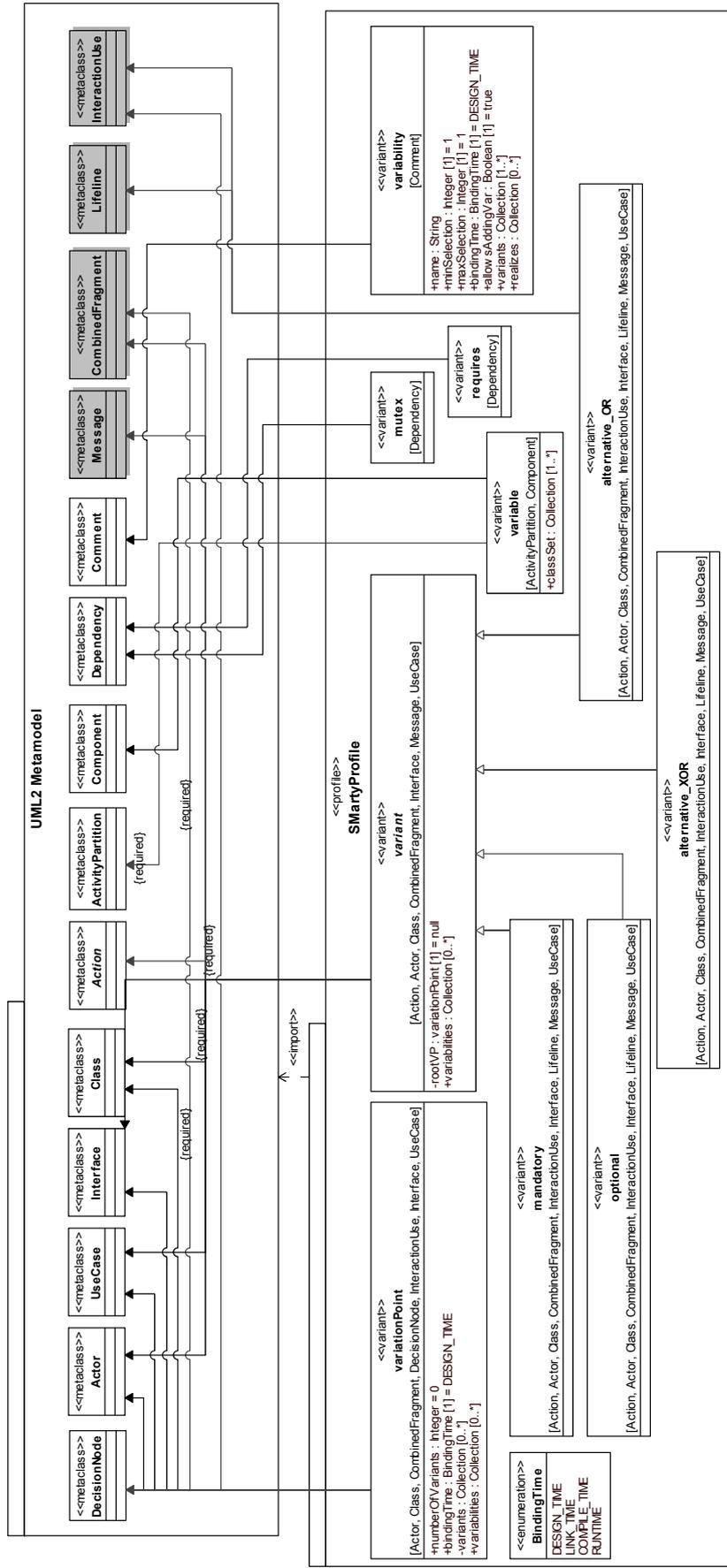


Figura 3-6: O Perfil SMartyProfile 5.0 com Suporte a Modelos de Casos de Uso, Classes, Componentes, Atividades e Sequência.

3.3 Novas Diretrizes para o SMartyProcess

Com a extensão de novos elementos do metamodelo padrão da UML para sequência, foram criadas 6 novas diretrizes no *SMartyProcess* para apoiar a identificação e a representação de variabilidades por meio do *SMartyProfile*:

- SQ.1** Elementos de diagramas de sequência como `CombinedFragment` que possuem do `interactionOperator` do tipo “alt” (*alternative*), indicam que apenas um fluxo do `CombinedFragment` será realizado, ou seja, sugerem variantes mutuamente exclusivas onde os pontos de variação serão anotados como `<<variationPoint>>` e serão relacionados a um comentário da UML especificando a variabilidade (`<<variability>>`). As variantes correspondentes às mensagens devem ser estereotipadas como `<<alternative_XOR>>`;
- SQ.2** Em diagramas de sequência, as duas possíveis ocorrências a seguir, sugerem variantes opcionais:
- a) Elementos de diagramas de sequência como o `CombinedFragment` que possuem `interactionOperator` do tipo “opt” (*optional*) sugerem variantes opcionais, sendo estereotipados como `<<optional>>`, e são relacionados a um comentário da UML especificando a variabilidade (`<<variability>>`). Os *lifelines* contidos nesse `CombinedFragment` e que fazem parte da variabilidade deverão ser estereotipados também como `<<optional>>`;
 - b) Troca de mensagens entre dois objetos não obrigatórios, ou entre um objeto obrigatório e outro não, sugerem uma variante opcional, estereotipadas como `<<optional>>` e estarão relacionados a um comentário da UML especificando a variabilidade (`<<variability>>`). A(s) *lifeline*(s) correspondente(s) a essa variante será(ão) estereotipada(s) também como `<<optional>>`.
- SQ.3** O elemento `interactionUse` “ref” sugere ponto de variação para variantes alternativas inclusivas, sendo estereotipado como `<<variationPoint>>` e relacionado a um comentário da UML, que identifica os elementos da variabilidade (`<<variability>>`). Os diagramas de sequência referenciados pelo `interactionUse` “ref” correspondem às variantes do ponto de variação, são considerados portanto, alternativos inclusivos, podendo um ou mais serem selecionados, sendo estereotipadas como `<<alternative_OR>>`.

SQ.4 as mensagens (*messages*) que são independentes dos fluxos contidos no *Cobined Fragment* “alt”, “opt”, *interactionUse* “ref”, ou não estejam relacionadas diretamente a uma variabilidade e seus elementos, são mantidas sem estereótipos e consideradas assim, obrigatórias;

SQ.5 Variantes em diagramas de sequência que, ao serem selecionadas para fazer parte de um produto específico, exigirem a presença de outra(s) determinada(s) variante(s) devem ter seus relacionamentos de dependência marcados com o estereótipo <<requires>>;

SQ.6 Variantes mutuamente exclusivas de um diagrama de sequência, para um determinado produto devem ter seus relacionamentos de dependência marcados com o estereótipo <<mutex>>.

Dessa maneira, com a nova extensão, SMarty 4.0 é atualizada para a versão 5.0¹, resultando na visão geral que pode ser observada na Figura 3.7.

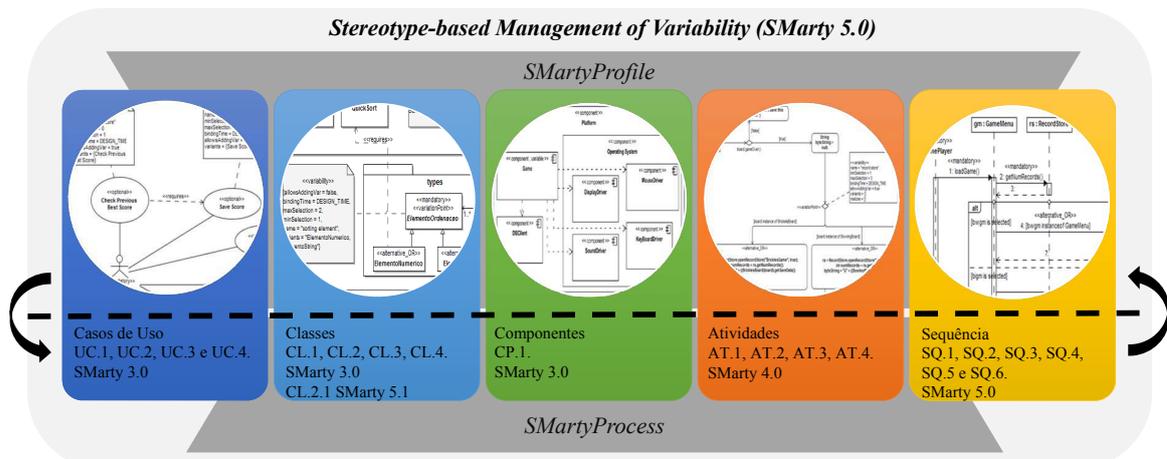


Figura 3.7: Visão Geral de SMarty 5.0.

3.4 Consideração Finais

SMarty 4.0 apresentava suporte a uma diversidade de modelos. Entretanto, a inexistência de um modelo que expressasse os comportamentos dinâmicos de sistemas, como os apresentados em diagramas de interação levou à sua extensão.

¹A atribuição de versões para SMarty foi convencionada neste trabalho de mestrado. O número inteiro corresponde a versão do modelo UML suportado. Logo, na versão 4.0, SMarty suportava modelos de casos de uso, classe, atividades e componentes, e após a sua extensão para modelos de sequência, passa para sua quinta versão (5.0). Na necessidade de inserir novas diretrizes, os números decimais devem ser acrescidos.

Para a nova extensão, preocupou-se em utilizar os elementos já existentes na UML, de tal forma que pudessem auxiliar na identificação de novas variabilidades, em representações previamente modeladas, assim como conduzir o usuário a representar de forma natural à linguagem as variabilidades com os elementos da UML 2.0.

O reconhecimento de outras abordagens que utilizam os modelos de sequência foi considerado por meio dos mapeamentos sistemáticos conduzidos (Apêndice A). Este levantamento permitiu a utilização de conceitos apresentados, bem como a melhoria em pontos cobertos de forma parcial ou incompletos pelas propostas recuperadas.

Com a versão 5.0 de SMarty, seguiu-se para o planejamento e consequente execução da avaliação experimental de sua efetividade para os seus principais modelos.

Avaliação Experimental da Abordagem SMarty 5.0

4.1 Considerações Iniciais

A avaliação experimental é fundamental no processo de evidenciar se novas ideias e teorias emergentes, seja de uma abordagem, de um novo paradigma de programação, ou novas tecnologias, são realmente viáveis, e assim, possibilitam a sua adoção em projetos acadêmicos e pela indústria (Basili et al., 1986; Juristo e Moreno, 2001; Kitchenham et al., 1995).

A revisão sistemática conduzida por (Chen et al., 2009) e os demais trabalhos presentes na literatura, demonstram a vasta quantidade de abordagens de gerenciamento de variabilidade, visando melhorias no reuso de artefatos. No entanto, os estudos de caso apresentados se mostram insuficientes e muitas vezes ineficientes para demonstrar a real efetividade dessas, e assim, promover sua transferência para o cotidiano das empresas e pesquisas acadêmicas.

É devido à ausência de avaliações experimentais que forneçam indícios de efetividade de tais abordagens que este capítulo apresenta a avaliação experimental de SMarty, com base em sua efetividade para os seus principais modelos da UML: casos de uso, classes e sequência. Para tanto, as propostas sugeridas por (Briand et al., 2001; Juristo e Moreno, 2001; Perry et al., 2000; Wohlin et al., 2012) para a condução de experimentos, foram seguidas.

O indicador efetividade foi escolhido para avaliar um dos processos mais significativos e importantes para abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML,

que previamente mencionado, determina o sucesso na adoção de LPS. Esse processo resume-se em identificar e representar as variabilidades nos diferentes modelos da UML, por meio da aplicação do conjunto de elementos presentes nas mais diversas abordagens. A avaliação empírica leva ainda à identificação de evidências quanto ao uso dos elementos que compõem tais abordagens como, por exemplo, o perfil UML 2.0 e o processo sistemático presentes na abordagem SMarty.

Destarte, a proposta de avaliação experimental de SMarty baseia-se também na necessidade de aumento de estudos empíricos na área de engenharia de software que, ainda recente, demonstra imaturidade no que diz respeito a execuções experimentais, para diversas tecnologias propostas (Juristo e Moreno, 2001). As lacunas preenchidas por estudos experimentais auxiliam a tomada de decisão e adesão de novos métodos e ferramentas, o que propicia o sucesso na inserção desses no cotidiano acadêmico e industrial (Mafra e Travassos, 2005).

4.2 Metodologia e Planejamento Experimental

As propostas selecionadas para avaliar SMarty com base em sua efetividade foram o método PLUS (Seção 2.4.2) e a abordagem de Ziadi et al. (Seção 2.4.3). Os procedimentos experimentais conduzidos permitem a utilização de tais propostas também com outras abordagens, propondo assim a possibilidade de avaliação de outras abordagens.

O método PLUS (Seção 2.4.2) foi selecionado por fornecer suporte a casos de uso e classes da UML e também por seu reconhecimento no que tange o gerenciamento de variabilidades com UML. Já a seleção da abordagem de Ziadi et al. (Seção 2.4.3), se deve pela ausência de suporte do método PLUS para modelos de sequência, e também por ter sido reconhecida como a propostas mais significativas daquelas recuperadas pelo mapeamento sistemático conduzido (Apêndice A).

Ao todo foram executados 4 experimentos, sendo eles:

- Efetividade de SMarty 5.0 para Modelos de Casos de Uso com relação ao Método PLUS.
- Efetividade de SMarty 5.0 para Modelos de Classes com relação ao Método PLUS.
- Efetividade de SMarty 5.0 para Modelos de Sequência com relação à Abordagem de Ziadi et al.
- Efetividade de SMarty 5.1 para Modelos de Classes com relação ao Método PLUS.

A efetividade, neste trabalho é definida como o quão bem uma abordagem permite a identificação e a representação de variabilidades e seus elementos em modelos UML de LPSs, e foi proposta com base nos estudos de (Basili e Selby, 1987; Çöteli, 2013; Martiinez-Ruiz et al., 2011). Para o cálculo da efetividade, os participantes dos experimentos identificam os elementos variáveis em uma LPS, por meio da aplicação de uma abordagem de gerenciamento de variabilidades. Assim, são identificados e calculados o número de elementos variáveis correto e incorretamente modelados, por meio de oráculo para cada uma das LPSs utilizadas, bem como para as suas respectivas abordagens. Esses números são, então, aplicados na equação de efetividade, apresentada a seguir:

$$efetividade(z) = \begin{cases} nVarC, & \text{se } nVarI = 0 \\ nVarC - nVarI, & \text{se } nVarI > 0 \end{cases}$$

sendo que:

- z é a abordagem de gerenciamento de variabilidade;
- $nVarC$ é o número de variabilidades e seus elementos modelados corretamente, de acordo com a abordagem z ; e
- $nVarI$ é o número de variabilidade e seus elementos modelados incorretamente, de acordo com a abordagem z .

Os itens que foram estabelecidos para o planejamento e a execução experimental são elencados a seguir. Esses itens foram definidos com base nos estudos propostos por (Juristo e Moreno, 2001; Wohlin et al., 2012).

1. Planejamento

- | | |
|---------------------------|---------------------------------|
| • Contexto Local | • Capacidade Aleatória |
| • Treinamento | • Classificação em Bloco |
| • Projeto Piloto | • Balanceamento |
| • Participantes | • Mecanismos de Análise |
| • Instrumentação | • Validade Interna |
| • Formulação de Hipóteses | • Validade Externa |
| • Variáveis Dependentes | • Validade de <i>Constructo</i> |
| • Variáveis Independentes | • Validade de Conclusão |

2. Execução

- Seleção de Participantes
- Instrumentação
- Procedimentos de Participação

A Figura 4.1 apresenta o resumo da metodologia utilizada nas etapas realizadas no conjunto de estudos experimentais, com foco principal na análise dos resultados, apresentando uma síntese dos testes estatísticos das amostras, que, conduzidos pelo teste de normalidade, seguem para um teste paramétrico, caso a amostra seja normal, ou para um teste não paramétrico, caso a mesma não seja considerada normal.

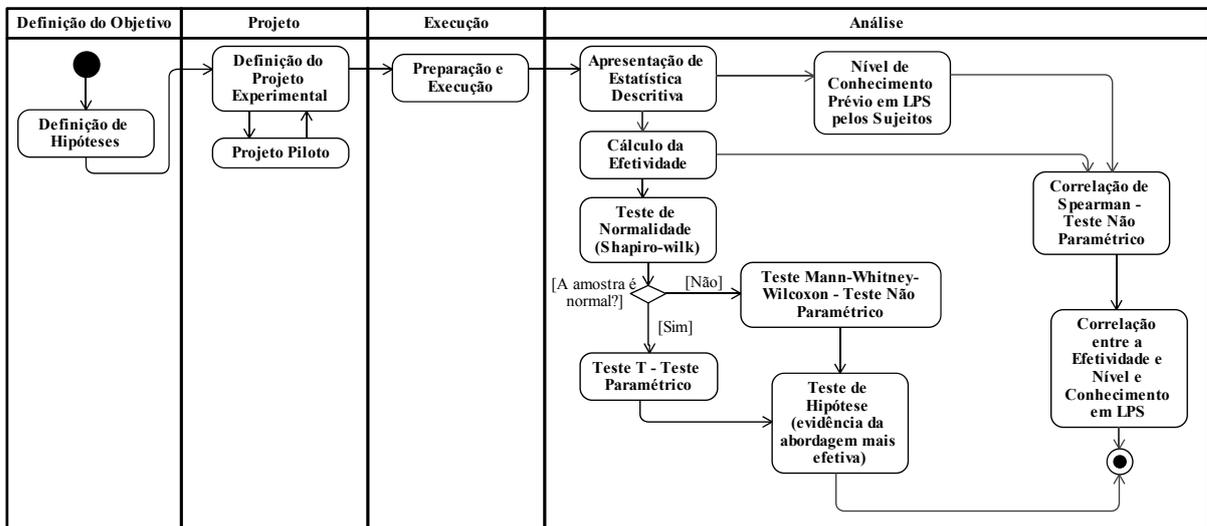


Figura 4.1: Diagrama de Atividades para as Fases Experimentais.

Primeiramente, os dados coletados na execução experimental referentes à efetividade, são resumidos em tabelas juntamente com a estatística descritiva desses.

Em segundo lugar, são submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk. De acordo com o resultados do teste (amostra normal ou não normal), um teste estatístico para verificar se a diferença entre os valores de efetividade para as duas abordagens que são consideradas em cada estudo são significativas, podendo inferir qual hipótese do estudo deve ser rejeitada e qual deve ser aceita.

Os testes¹ para verificar a diferença estatística entre a efetividade total da abordagem X (PLUS ou Ziadi et al.) e a abordagem Y (SMarty) foram: o teste T (Hole, 2011; Wohlin

¹O complemento *Action* (<http://www.portalaction.com.br/>) para Excel 2013 e os Softwares Statistica 10 (<http://www.statsoft.com/>) e o SPSS Statistics 17 (<http://www-01.ibm.com/software/analytcs/spss/>) foram utilizados para auxiliar nos cálculos dos testes estatísticos apresentados.

et al., 2012)(paramétrico) e o teste Mann-Whitney-Wilcoxon (Hole, 2011; Marôco, 2011) (não paramétrico).

Testada e evidenciada a abordagem mais efetiva em cada experimento, uma correlação entre a efetividade obtida para cada participante e o nível de conhecimento de LPS e gerenciamento de variabilidades de cada um deles foi realizada, por meio de respostas dadas no questionário de caracterização.

Para o questionário, as seguintes respostas estavam disponíveis:

- Eu nunca ouvi falar a respeito de LPS.
- Já lí, de forma superficial, algo a respeito de LPS.
- Minha experiência com LPS é básica. Eu conheço os seguintes conceitos da abordagem: ciclo de desenvolvimento de LPS e suas atividades (engenharia de domínio e engenharia de aplicação). Porém, não tenho experiência com gerenciamento de variabilidades.
- Minha experiência com LPS é moderada. Eu conheço os conceitos da opção anterior, e com relação ao gerenciamento de variabilidades, eu sei o conceito de pontos de variação, variantes e os seus relacionamentos, além dos conceitos de resolução de variabilidades e tempos de resolução (*design time, link time, run time*, entre outros).
- Minha experiência com LPS é avançada. Eu conheço os conceitos da opção anterior, além de alguns processos existentes de desenvolvimento de LPS (FODA, PLP, PLUS, PuLSE, entre outros). Com relação ao gerenciamento de variabilidades, eu sei os conceitos da opção anterior, além de modelos de resolução, abordagens existentes para o gerenciamento de variabilidades, e representação de variabilidades (usando a UML, modelos de características, entre outras).

Assim, as respostas para a pergunta recebem um peso de 1-5, caracterizando uma escala ordinal de Likert. Por meio desses pesos e por ser uma escala que considera a ordem dos dados e não seu valor intrínseco é aplicado à correlação de Spearman (Brandalise, 2005; Likert, 1932; Pontes et al., 2010).

A correlação calculada permite indicar o nível de correlação obtido e assim, uma análise das evidências é realizada para averiguar se há uma possível influência do nível de conhecimento do participante com o resultado da aplicação da respectiva abordagem.

As próximas seções explicam os procedimentos realizados para a obtenção e a análise dos resultados para cada um dos quatro estudos experimentais.

4.2.1 Definição dos Estudos Experimentais

A definição para cada um dos estudos experimentais, com base no modelo GQM *Goal/Question/Metric* proposto por (Basili et al., 1986), são apresentados a seguir:

1. Estudo Experimental de Efetividade de SMarty 5.0 para Casos de Uso

O objetivo do estudo experimental para casos de uso foi **comparar** o método PLUS e a abordagem SMarty 5.0, **com o propósito de** caracterizar o mais efetivo, **em relação à** capacidade de identificação e representação de variabilidades em modelos de casos de uso de linhas de produto de software, **do ponto de vista de** arquitetos de linha de produto, **no contexto de** estudantes de graduação, pós-graduação e professores da área de engenharia de software da Universidade Estadual de Maringá (UEM), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e Universidade Federal do Amazonas (UFAM), para a LPS *e-Commerce*.

2. Estudo Experimental de Efetividade de SMarty 5.0 para Classes

O objetivo do estudo experimental para o modelo de classes foi **comparar** o método PLUS e a abordagem SMarty 5.0, **com o propósito de** caracterizar o mais efetivo, **em relação à** capacidade de identificação e representação de variabilidades em modelos de classes de linhas de produto de software, **do ponto de vista de** arquitetos de linha de produto, **no contexto de** estudantes de mestrado e doutorado da área de engenharia de software do Instituto de Ciências e Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP) e Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), para as LPSs *e-Commerce* e *AGM*.

3. Estudo Experimental de Efetividade de SMarty 5.0 para Sequência

O objetivo que rege o experimento de sequência da UML foi de **comparar** a abordagem de Ziadi et al. e a abordagem SMarty 5.0, **com o propósito de** caracterizar o mais efetivo, **em relação à** capacidade de identificação e representação de variabilidades em modelos de sequência de linhas de produto de software, **do ponto de vista de** arquitetos de linha de produto, **no contexto de** estudantes de mestrado e doutorado da área de engenharia de software da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e da Universidade Estadual de Maringá (UEM), para as LPSs *Banking* e *AGM*.

4. Estudo Experimental de Efetividade de Smarty 5.1 para Classes

O objetivo do estudo experimental para o modelo de classes foi **comparar** o método PLUS e a abordagem SMarty 5.1, **com o propósito de** caracterizar o mais efetivo,

em relação à capacidade de identificação e representação de variabilidades em modelos de classes de linhas de produto de software, **do ponto de vista de** arquitetos de linha de produto, **no contexto de** estudantes de mestrado e doutorado da área de engenharia de software da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS), para as LPSs *e-Commerce* e *AGM*.

Por convenção, o método PLUS é tratado com o termo abordagem, e a apresentação dos nomes das abordagens utilizadas foram adotadas como X e Y, para eliminar possível viés entre os participantes.

A seleção de participantes de diferentes instituições foi definida mediante a necessidade de evitar o possível viés em relação ao conhecimento da abordagem SMarty pelos mesmos. O mapa da Figura 4.2 apresenta a localização das instituições selecionadas para os estudos e seus respectivos estados.

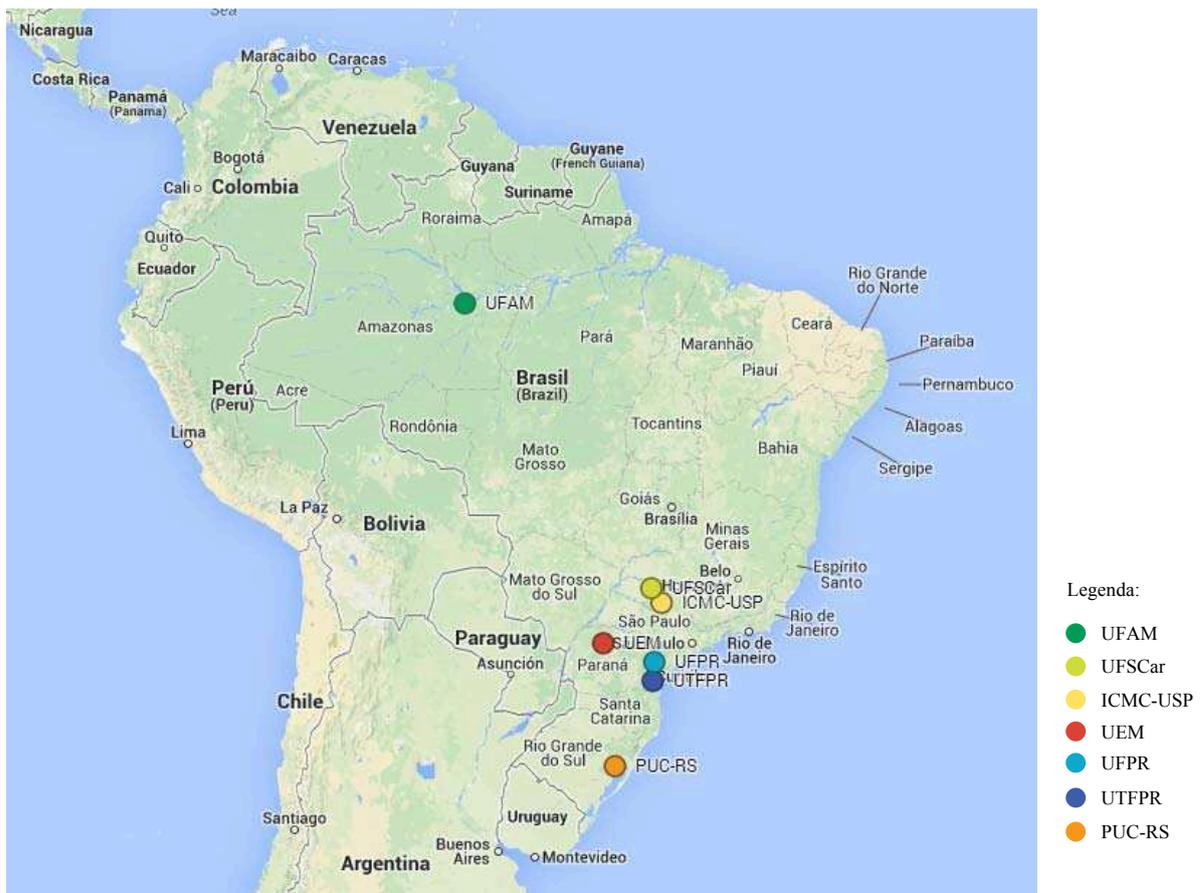


Figura 4.2: Instituições participantes nos Estudos Experimentais e suas Localizações.

4.2.2 Planejamento dos Estudos Experimentais

Os itens correspondentes ao planejamento experimental são apresentados nesta seção. A Tabela 4.1 apresenta os primeiros itens para os experimentos de caso de uso, classes e sequência. É importante salientar que, como o experimento de classes, na sua segunda execução sofreu modificações somente em seus tratamentos (em vez de SMarty 5.0 foi usado a sua versão 5.1), o mesmo planejamento é mantido para ambas as execuções.

Tabela 4.1: Itens do Planejamento Experimental - Parte I.

Planejamento I			
Item	Estudo Experimental		
	Caso de Uso	Classe	Sequência
Contexto Local	A LPS <i>Electronic Commerce</i> (<i>e-Commerce</i>), proposta por Gomaa (2004), foi utilizada para a aplicação das abordagens de LPS para modelos UML de casos de uso.	As LPSs <i>e-Commerce</i> , e a <i>Arcade Game Maker</i> (AGM) foram utilizadas para a aplicação das abordagens de LPS para modelos UML de classes.	As LPSs <i>Banking</i> , proposta por Ziadi et al. (2006) e a AGM foram utilizadas para a aplicação das abordagens de LPS para modelos UML de sequência.
Treinamento	Os participantes receberam treinamento sobre conceitos essenciais sobre LPS e variabilidade, e treinamentos específicos para cada experimento:		
	Identificação e representação de variabilidades em modelos de caso de uso, de acordo com a abordagem que recebeu para aplicação (método PLUS ou abordagem SMarty).	Identificação e representação de variabilidades em modelos de classes, de acordo com a abordagem que recebeu para aplicação (método PLUS ou abordagem SMarty).	Identificação e representação de variabilidades em modelos de sequência, de acordo com a abordagem que recebeu para aplicação (abordagem de Ziadi et al. ou abordagem SMarty).
Projeto Piloto	Projetos piloto foram executados para a avaliação da instrumentação utilizada em cada um dos experimentos, exceto para o segundo experimento de classes, visto que é similar ao primeiro. Para participação nestes, foram utilizados professores e estudantes de mestrado da área de engenharia de software. Com base na execução do projeto piloto, na qual simulou-se todo o procedimento de execução experimental, foram realizadas melhorias nos instrumentos, bem como optado pela utilização de apenas uma das duas abordagens para cada estudo, uma vez que o tempo a ser empregado na realização de cada um seria maior, podendo resultar em fadiga dos participantes. É importante mencionar que nenhum resultado obtido por meio dos projetos piloto foram utilizados.		
Participantes	Os participantes foram selecionados mediante grau de formação: graduandos, graduados, mestrandos, mestres, doutorandos e doutores, bem como professores da área de engenharia de software, com nível mínimo de conhecimento em modelagem.		
Instrumentação	A instrumentação dos experimentos é composta pelo Termo de Adesão a Estudo Experimental, Questionário de Caracterização de Participantes (aplicado também online), o documento com os Conceitos de LPS, da Abordagem X, da Abordagem Y, Elementos Gráficos da UML e Exercícios (apenas para experimento de sequência), Descrição das LPSs e Formulários Experimentais (um para cada abordagem e LPS).		

Para o item instrumentação, apresentado na Tabela 4.1, é importante mencionar que essa foi dividida de acordo com a abordagem do participante. Tal divisão foi conduzida mediante resultado do projeto piloto.

O projeto piloto levou à identificação do elevado tempo utilizado pelos participantes ao receberem as duas abordagens para serem aplicadas. Assim, foi definida a divisão de dois grupos de participantes, para a execução experimental e consequente divisão dos instrumentos para tal.

Um grupo de participantes recebeu as especificações da Abordagem X e outro da Abordagem Y, o mesmo ocorreu para a divisão dos Formulários Experimentais, divididos especificamente para cada abordagem e LPS utilizada.

No estudo de casos de uso, no item Contexto Local (Tabela 4.1) é visível que apenas uma LPS foi utilizada: a *Electronic Commerce* proposta em (Gomaa, 2004), logo a aleatoriedade dos instrumentos foi aplicada apenas às abordagens. Já para os experimentos de classes (primeira e segunda execução) e sequência, duas LPSs foram utilizadas.

No experimento de classes foram utilizadas as LPSs *e-Commerce* e a AGM (SEI, 2010). Essas foram entregues na mesma ordem, porém poderiam ser realizadas na ordem desejada pelo participante. Visando eliminar o viés da disponibilização dessas e a facilidade que é agregada na realização do segundo modelo, visto que o participante acumula conhecimento ao resolver o primeiro modelo; no segundo experimento de classes, as mesmas LPSs foram intercaladas em igual número, e distribuídas aleatoriamente. O mesmo foi realizado para o estudo de sequência com as LPSs AGM e *Banking* (Ziadi et al., 2003a).

O item Treinamento (Tabela 4.1) também sofreu pequenas alterações no decorrer das execuções experimentais: para casos de uso e classes, a sessão de treinamento ocorreu com todos os participantes, de ambos os grupos, na mesma sala. Enquanto um dos grupos lia os conceitos de LPS e da abordagem recebida, o outro grupo recebia o treinamento. Como esse procedimento levou a *feedback* dos participantes ao final do experimento de classes, quanto ao porquê de um grupo ser mais ágil para a realização do experimento, se comparado a outro grupo e as sessões de treinamento seguintes (classes segundo experimento e sequência) foram realizadas de forma diferenciada.

Todos os participantes receberam treinamento quanto aos conceitos básicos sobre LPS e variabilidades, e em seguida, os participantes do grupo Y foram solicitados a se retirarem da sala, para o treinamento do grupo X, em seguida, o contrário. Ao final da sessão de treinamento, todos retornaram à sala para a execução experimental.

A formulação das hipóteses para cada estudo experimental é expressa em um único modelo, como segue, em que: X corresponde ao método ou abordagem comparada com Y que, como já mencionado, corresponde à abordagem SMarty.

Formulação de Hipóteses: as hipóteses a seguir foram estipuladas para serem validadas ou rejeitadas experimentalmente no conjunto de estudos experimentais:

- **Hipótese Nula (H_0):** ambas as abordagens, X e Y, possuem a mesma efetividade para representar variabilidades em seus respectivos modelos UML.

$$H_0 : \mu(\text{efetividade}(X)) = \mu(\text{efetividade}(Y));$$

- **Hipótese Alternativa (H_1):** A abordagem X é, em média, menos efetiva que a abordagem Y.

$$H_1 : \mu(\text{efetividade}(X)) < \mu(\text{efetividade}(Y)); \text{ e}$$

- **Hipótese Alternativa (H_2):** A abordagem X é, em média, mais efetiva que a abordagem Y.

$$H_2 : \mu(\text{efetividade}(X)) > \mu(\text{efetividade}(Y)).$$

Variáveis Independentes: a abordagem de gerenciamento de variabilidade corresponde ao fator abordagem, com dois tratamentos: abordagem X e Y, conforme ilustra a Figura 4.3.

Para o experimento de casos de uso, a LPS representa uma variável com valor fixo, já para os demais estudos, é considerado também um fator, com dois tratamentos, sendo cada um deles uma LPS específica para o estudo (classes e sequência), conforme indicado no item Contexto Local da Tabela 4.1 e na Figura 4.3.

Variáveis Dependentes: a efetividade calculada para cada abordagem de gerenciamento de variabilidade (X e Y), representa a variável dependente em seus respectivos estudos experimentais.

A Figura 4.3 apresenta a relação entre as variáveis independentes e a variável dependente. A Figura 4.3a) representa as variáveis para o estudo de casos de uso. A Figura 4.3b) apresenta as variáveis para o estudo de classes (primeira execução) e a Figura 4.3c) representa as variáveis utilizadas no estudo experimental para modelos de sequência da UML.

A Tabela 4.2 apresenta os últimos itens correspondentes ao planejamento experimental.

No estudo de casos de uso, como mencionado anteriormente, apenas a LPS *e-Commerce* foi utilizada, e assim, para garantir a representação de mais elementos para serem estereotipados pelos participantes, a LPS AGM foi incorporada aos experimentos seguintes: classes e sequência. Logo, a capacidade aleatória (Tabela 4.2) foi aplicada para a ordem da instrumentação correspondente às suas LPSs.

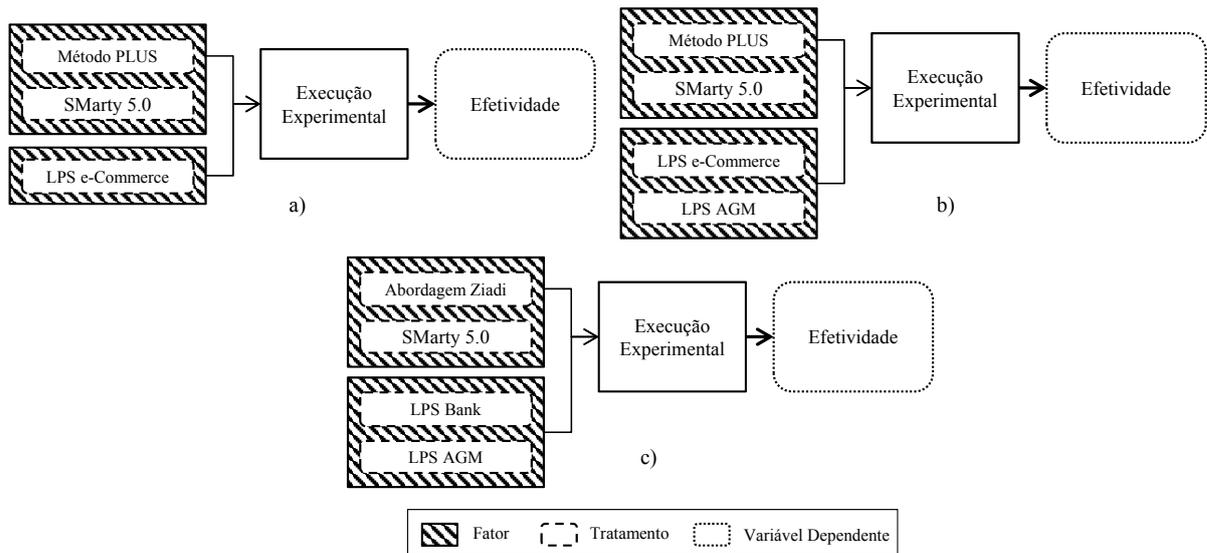


Figura 4.3: Conjunto de Variáveis Independentes e Dependentes por Estudos Experimentais: a) Casos de Uso, b) Classes e c) Sequência

Tabela 4.2: Itens do Planejamento Experimental - Parte II.

Planejamento II			
Item	Estudo Experimental		
	Caso de Uso	Classe	Sequência
Capacidade Aleatória	A seleção dos participantes não se deu de forma aleatória para o universo de voluntários, uma vez que este foi restrito. A capacidade de aleatoriedade foi aplicada na distribuição das abordagens X e Y para os participantes.		
Classificação em Bloco	Como a aplicação do experimento se dá pela aplicação de duas abordagens, foi realizada amostragem aleatória, onde a população foi dividida em dois blocos, um que recebeu a abordagem X e outra a abordagem Y, balanceados pelo nível de conhecimento em UML, obtido pelo Questionário de Caracterização, onde também foi obtido o nível de conhecimento em LPS e variabilidade, para a condução dos testes de correlação.		
Balanceamento	As tarefas foram realizadas em igual número para número similar de participantes.		
Mecanismos de Análise	Os mecanismos de análise foram: o cálculo da efetividade e a aplicação de teste estatístico para verificar se as diferenças entre a efetividade da abordagem X e Y são significativas, permitindo evidenciar qual a mais efetiva.		

4.2.3 Execução dos Estudos Experimentais

Nesta seção são apresentados os passos executados para a obtenção dos resultados em cada um dos estudos experimentais.

A Tabela 4.3 apresenta os itens correspondentes à seleção dos participantes e instrumentação principal utilizados no processo de execução.

Tabela 4.3: Itens de Execução Experimental

Item	Execução			
	Caso de Uso	Estudo Experimental		Sequência
		Classe (primeiro estudo)	Classe (segundo estudo)	
Seleção dos Participantes	Foram selecionados para este estudo 21 alunos de graduação e 3 professores, todos da área de engenharia de software.	Um total de 20 mestrandos e doutorandos da área de engenharia de software foram selecionados para este estudo.	Um total de 10 mestrandos e doutorandos da área de engenharia de software foram selecionados para este estudo.	Um total de 14 alunos de mestrado e doutorado, todos da área de engenharia de software foram selecionados.
Instrumentação	O principal instrumento utilizado para a coleta de dados se refere ao Formulário Experimental, com o modelo de casos de uso da LPS e-Commerce, que teve as variabilidades e seus elementos assinalados por cada participante, seguindo as instruções da abordagem que recebeu (X ou Y), bem como o Questionário de Caracterização, que permitiu a coleta e identificação do nível de conhecimento em LPS, para a execução do teste de correlação entre efetividade e tal nível.	Como instrumentos principais para o estudo de classes estão os Formulários Experimentais, sendo um para a LPS e-Commerce e outro para a AGM. Estes receberam a identificação das variabilidades e seus elementos com base na abordagem recebida (X ou Y). Outro instrumento que deu suporte a execução dos testes de correlação foi o Questionário de Correlação e as respostas quanto ao nível de conhecimento dos participantes. Os Formulários Experimentais foram entregues em uma ordem determinada, porém os participantes estavam livres para alterar a ordem destes.	Como instrumentos principais para o estudo de classes estão os Formulários Experimentais, sendo um para a LPS e-Commerce e outro para a AGM. Estes receberam a identificação das variabilidades e seus elementos com base na abordagem recebida (X ou Y). Outro instrumento que deu suporte a execução dos testes de correlação foi o Questionário de Correlação e as respostas quanto ao nível de conhecimento dos participantes. Diferente do primeiro estudo de classes, a ordem dos Formulários Experimentais foram previamente definidos em igual número, e aleatoriamente distribuídos, não podendo ter a ordem alterada no momento da resolução dos mesmos.	Assim como nos demais experimentos, os Formulários Experimentais para as LPSs Banking e AGM, apresentam o modelo de sequência para a identificação das variabilidades e seus elementos, com base na abordagem X ou Y, pelos participantes, permitindo a obtenção da efetividade. Para a correlação entre a efetividade e o nível de conhecimento, o Questionário de Caracterização permitiu a coleta do nível de conhecimento, e assim a condução da verificação da correlação. Como no segundo estudo para classes, a ordem dos Formulários Experimentais foram previamente definidos em igual número, e aleatoriamente distribuídos, não podendo ter a ordem alterada no momento da resolução dos mesmos.

Procedimento de Participação: Os procedimentos executados nos estudos experimentais se resumem como seguem:

1. Estudo Experimental para Casos de Uso

- (a) os participantes foram recebidos na sala para a execução experimental, bem como dispostos em carteiras para a realização do experimento;
- (b) o experimentador distribuiu aos participantes um conjunto de documentos (instrumentação), de acordo com os blocos balanceados pelo nível de conhecimento dos participantes em UML:
 - o termo de adesão do estudo experimental;
 - o questionário de caracterização;
 - os conceitos essenciais sobre LPS e gerenciamento de variabilidade;
 - a descrição da linha e produto *e-commerce*; e
 - formulário experimental com diagrama de casos de uso da LPS *e-commerce*, sem a identificação das variabilidades.
- (c) os participantes leem cada um dos documentos entregues;

- (d) o experimentador explica cada um dos documentos;
- (e) o experimentador aleatoriamente distribui para cada um dos participantes o documento com a especificação de uma abordagem (X ou Y);
- (f) o experimentador fornece treinamento para as abordagens. Enquanto os participantes que receberam a abordagem X são treinados, os da abordagem Y leem a definição da sua abordagem e, ao final do treinamento da abordagem X, os participantes da abordagem Y são então treinados, enquanto os da abordagem X leem a documentação referente a esta;
- (g) os participantes, após leitura sanam dúvidas quanto as documentações recebidas;
- (h) os participantes identificam e representam as variabilidades especificadas na descrição da LPS *e-commerce* utilizam os elementos da abordagem que receberam (X ou Y); e finalmente
- (i) o experimentador recolhe a instrumentação distribuída para posterior correção e análise dos resultados.

2. Primeiro e Segundo Estudo Experimental para Classe

Os elementos que se diferem dos passos executados para o experimento de casos de uso correspondem aos itens (b) e (h), respectivamente:

- o experimentador distribui, além dos demais documentos, duas descrições de LPS (*e-Commerce* e AGM), bem como dois formulários experimentais, cada um para sua respectiva LPS, com diagrama de classes sem a identificação de variabilidades; e
- os participantes identificam e representam as variabilidades especificadas nas descrições das LPS *e-Commerce* e AGM em seus modelos de classes respectivos, com os elementos apresentados na descrição da abordagem recebida (X ou Y).

3. Estudo Experimental para Sequência

Os procedimentos que foram modificados para o estudo experimental de sequência, em relação ao estudo de casos de uso referem-se, assim como o de classes para os itens (b) e (h):

- o experimentador entrega, além dos demais documentos, duas descrições de LPS (*Banking* e AGM), bem como dois formulários experimentais respectivos

às suas LPS, com diagrama de sequência a terem suas variabilidades identificadas; e

- os participantes identificam e representam as variabilidades especificadas nas descrições das LPSs *e-Commerce* e AGM em seus modelos de classes respectivos, com os elementos apresentados na descrição da abordagem recebida (X ou Y).

Após a execução e a resolução dos formulários experimentais os dados coletados são apresentados em tabelas respectivas para seus estudos, bem como analisados utilizando métodos estatísticos apropriados, como os definidos no início da seção atual. A análise dos dados e os testes estatísticos são apresentados nas seções a seguir.

4.3 Efetividade de SMarty 5.0 para Modelos de Casos de Uso

O estudo experimental para a identificação da efetividade de SMarty, para a extensão de modelos de casos de uso da UML, é apresentado neste seção.

No estudo experimental para modelos de casos de uso, o modelo *Goal/Question/Metric* (Differding et al., 1996) foi seguido, e duas questões de pesquisa (Q.P.) foram estabelecidas:

- Q.P.1 Qual abordagem (PLUS/SMarty) é mais efetiva para identificar e representar variabilidades em modelos de casos de uso em LPS?
- Q.P.2 O nível de conhecimento em LPS e variabilidade dos participantes influencia a aplicação correta das abordagens em modelos UML de casos de uso?

4.3.1 Análise e Interpretação dos Resultados para Caso de Uso

Os resultados obtidos na aplicação do método PLUS e da abordagem SMarty para a LPS *e-commerce* foram submetidos aos passos que seguem:

- análise e interpretação dos dados coletados para as abordagens X e Y, apresentados na Tabela 4.4, por meio do teste de normalidade Shapiro-Wilk e teste T; e
- análise e interpretação da correlação entre a efetividade das abordagens e as respostas fornecidas pelos participantes no questionário de caracterização, com a aplicação da técnica de correlação de Spearman.

Tabela 4.4: Resultados Coletados e Estatística Descritiva - Casos de Uso (PLUS e SMarty 5.0).

Abordagem X (PLUS)				Abordagem Y (SMarty)			
Modelo de Identificação de Variabilidades	Elementos de Variabilidade Corretos	Elementos de Variabilidade Incorretos	Efetividade	Modelo de Identificação de Variabilidades	Elementos de Variabilidade Corretos	Elementos de Variabilidade Incorretos	Efetividade
1	5	6	-1	1	5	6	-1
2	8	2	6	2	5	6	-1
3	9	2	7	3	8	3	5
4	6	5	1	4	10	1	9
5	8	3	5	5	11	0	11
6	10	1	9	6	9	2	7
7	5	6	-1	7	9	2	7
8	4	7	-3	8	5	6	-1
9	4	7	-3	9	9	2	7
10	8	3	5	10	2	9	-7
11	4	7	-3	11	8	3	5
12	5	6	-1	12	11	0	11
Média	6,33	4,58	1,75	Média	7,67	3,33	4,33
Desvio Padrão	2,05	2,14	4,19	Desvio Padrão	2,69	2,69	5,37
Mediana	5,50	5,50	0,00	Mediana	8,50	2,50	6,00

A Figura 4.4 apresenta os *Box Plots* com os valores da Efetividade (Tabela 4.4) para cada uma das abordagens (X e Y).

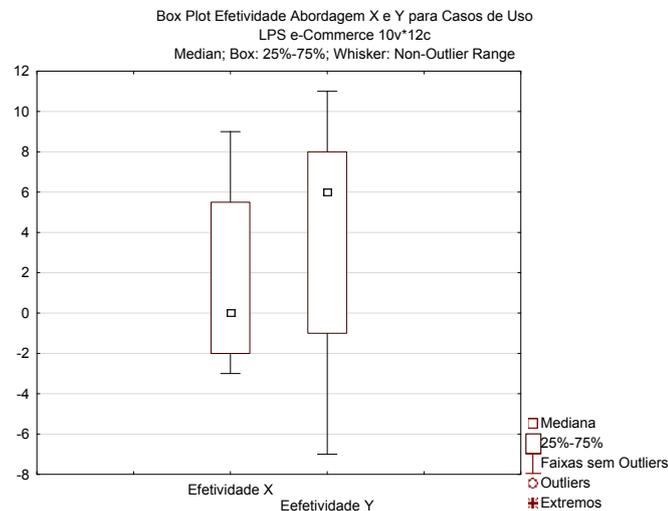


Figura 4.4: Box Plot Efetividade para as Abordagens X e Y - Casos de Uso.

4.3.2 Efetividade das Abordagens para Casos de Uso

- **Teste de Normalidade dos Dados:** o teste de normalidade de Shapiro-Wilk (Royston, 1982; Shapiro e Wilk, 1965) foi aplicado à amostra da LPS e-commerce

(Tabela 4.4) para cada uma das abordagens, conforme apresentado nos histogramas da Figura 4.5, indicando os resultados que seguem:

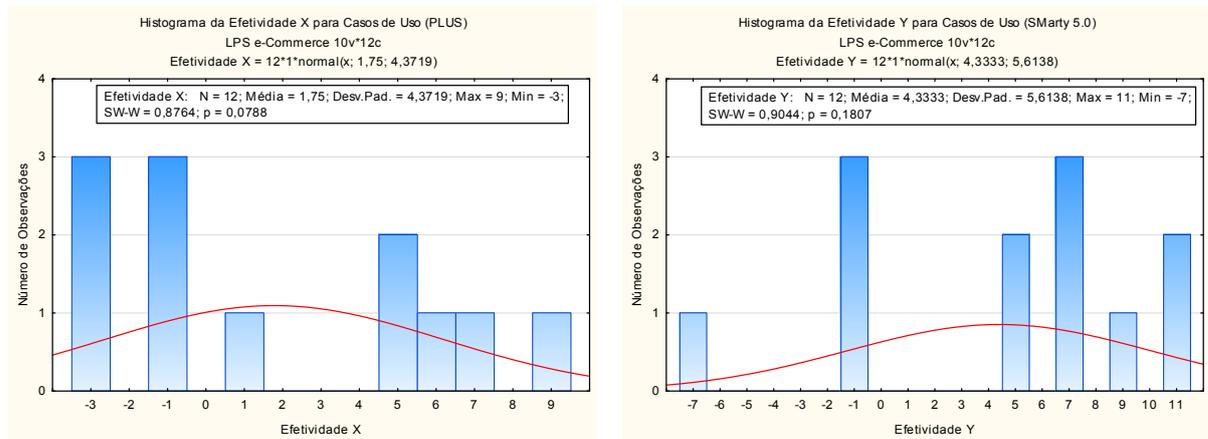


Figura 4.5: Histograma da Amostra da Efetividade para as Abordagens X e Y - Casos de Uso.

Abordagem X ($N=12$): para a média (μ) 1,75, desvio padrão (σ) 4,19, a efetividade para a aplicação da abordagem X resultou em $p = 0,07$, ao ser aplicado ao teste de normalidade Shapiro-Wilk.

O teste indicou, para uma amostra (N) de tamanho 12 com 95% de nível de significância ($\alpha = 0,05$), $p = 0,07$ ($0,07 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,8763 > W = 0,8590$, que a amostra é considerada normal.

Abordagem Y ($N=12$): para a média (μ) 4,33, desvio padrão (σ) 5,37, a efetividade para a aplicação da abordagem Y resultou em $p = 0,18$, ao ser aplicado ao teste de normalidade Shapiro-Wilk.

O teste indicou, para uma amostra (N) de tamanho 12 com 95% de nível de significância ($\alpha = 0,05$), $p = 0,18$ ($0,18 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,9043 > W = 0,8590$, que a amostra é considerada normal.

Para o modelo de identificação de variabilidades de número 10 (Tabela 4.4, constatou-se um valor de efetividade discrepante, se comparado ao dos demais, levando a uma análise do perfil do participante. Tendo obtido um valor de efetividade -7 o participante correspondente ao modelo de número 10 acertou apenas 2 elementos de variabilidade e errou 9 ($efetividade(Y) = 2 - 9 = -7$). A análise do seu perfil, por meio do questionário de caracterização indicou que este tem um nível de conhecimento em UML básico, o mesmo nível foi assinalado em relação ao

conhecimento em LPS e variabilidade, e este levou 1 hora e 9 minutos para preencher o Formulário de Identificação de Variabilidades.

A análise do perfil do participante indica que, possivelmente, seu conhecimento básico em UML possa ter dificultado a aplicação da abordagem Y para a identificação e representação de variabilidades, o que levou a um tempo maior para responder ao Formulário. No entanto, esta indicação é passível de erro, visto que outros fatores externos podem ter culminado no resultado pouco expressivo, uma vez que o participante recebeu, como os demais, treinamento sobre LPS e variabilidade, e também da abordagem Y aplicada a casos de uso, permitindo a aplicação desta abordagem para o reconhecimento dos elementos de variabilidade no modelo fornecido.

- **Teste T para amostra de X e Y:** este teste estatístico pode ser aplicado para amostras independentes e emparelhadas, com tamanho inferior a 30 (Barbetta et al., 2004; Fonseca e Andrade Martins, 2013). Neste estudo as amostras de X e Y são independentes. Como cada uma das amostras tem tamanho menor que 30, e foram identificadas como normais, as hipóteses a seguir foram definidas no teste T, para verificação:

- **Hipótese Nula (H_0):** à abordagem X apresenta, em média, a mesma efetividade que a abordagem Y.

$$H_0 : \mu(\text{efetividade}(X)) = \mu(\text{efetividade}(Y));$$

- **Hipótese Alternativa (H_1):** à abordagem X é, em média, mais efetiva que a abordagem Y.

$$H_1 : \mu(\text{efetividade}(X)) - \mu(\text{efetividade}(Y)) > 0.$$

- **Hipótese Alternativa (H_2):** à abordagem Y é, em média, mais efetiva que a abordagem X.

$$H_2 : \mu(\text{efetividade}(Y)) - \mu(\text{efetividade}(X)) > 0.$$

Primeiramente, o valor de T foi calculado, permitindo a identificação da variação estatística na tabela t (*student*). Esse valor é calculado usando a média da amostra X ($\mu_2 = 1,75$) e amostra Y ($\mu_1 = 4,33$), bem como os desvios padrões de ambas ($\sigma_1 = 4,19$ e $\sigma_2 = 5,37$, respectivamente), e o tamanho da amostra, para cada uma

delas, que corresponde a 12 para ambas ($N = 12$). Dessa maneira foi obtido o valor para $t_{calculado}$ de 2,54.

Como o tamanho da amostra foi ($N = 12$), foi obtido o grau de liberdade (df), que combinado com o valor de t indica qual o valor de t crítico, na tabela t deve ser selecionado. O valor de t é então usado para realizar o teste de hipóteses.

Identificado, com o índice $df = 22$ na tabela t , o valor crítico de t que corresponde ao valor de 2,07 ($t_{critico} = 2,07$), com nível de significância de (α) 0,05. O valor de $t_{calculado}$ foi comparado ao $t_{critico}$ ($t_{calculado}(2,54) \geq t_{critico}(2,07)$), levando à rejeição da hipótese nula (H_0) do estudo, e aceitando a hipótese alternativa (H_2), que indica a maior efetividade para a abordagem Y.

4.3.3 Correlação entre a Efetividade e o Nível de Conhecimento dos Participantes para Casos de Uso

A correlação, entre o nível de conhecimento prévio sobre LPS e variabilidade de cada participante e a efetividade do modelo de casos de uso, onde foram identificadas as variabilidades, é realizado para identificar a possível influência do nível de conhecimento, nos resultados de efetividade obtidos.

Como o nível de conhecimento é medido por meio de uma escala ordinal de Likert (Likert, 1932) de 1-5, estes não são aplicáveis a testes de normalidade, sendo portanto, considerados não paramétricos e aplicados ao teste de correlação de Spearman (Pontes et al., 2010).

- **Correlação de Spearman:** essa técnica não paramétrica é aplicada para verificar se existe correlação entre os valores de efetividade das abordagens X e Y e do nível de conhecimento para os participantes (Zar, 1972). A Equação 4.1 apresenta a fórmula para o cálculo de ρ da correlação de Spearman, onde n representa o tamanho da amostra:

$$\rho = \left\{ 1 - \frac{6}{n(n^2 - 1)} \sum_{i=1}^n d_i^2 \right\} \quad (4.1)$$

A Tabela 4.5 apresenta os dados aplicados no cálculo da correlação de Spearman para a abordagem X e o nível de conhecimento prévio em LPS dos participantes. Os valores das colunas r_a e r_b foram obtidos após a ordenação decrescente dos valores da efetividade e do seu respectivo nível de conhecimento. Nas situações em que ocorreram empates de posições, a média entre essas foi calculada.

Tabela 4.5: Correlação de Spearman entre a Efetividade da Abordagem X e Y o Nível de Conhecimento em LPS.

<i>Abordagem X (PLUS)</i>							<i>Abordagem Y (SMarty)</i>						
Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_a	Nível de Conhecimento	r_b	$r_a - r_b$	d^2	Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_a	Nível de Conhecimento	r_b	$r_a - r_b$	d^2
1	9,00	1	5	1	0	0	1	11	1,5	3	6	-5	20
2	-1,00	8	3	2	6	36	2	11	1,5	2	9,5	-8	64
3	7,00	2	2	7	-5	25	3	9	3	2	9,5	-7	42
4	6,00	3	2	7	-4	16	4	7	5	3	6	-1	1
5	5,00	4,5	2	7	-3	6	5	7	5	4	3	2	4
6	5,00	4,5	2	7	-3	6	6	7	5	1	12	-7	49
7	1,00	6	2	7	-1	1	7	5	7,5	4	3	5	20
8	-1,00	8	2	7	1	1	8	5	7,5	4	3	5	20
9	-3,00	11	2	7	4	16	9	-1	10	3	6	4	16
10	-3,00	11	2	7	4	16	10	-1	10	2	9,5	1	0
11	-3,00	11	2	7	4	16	11	-1	10	2	9,5	1	0
12	-1,00	8	1	8	0	0	12	-7	12	5	1	11	121

As Equações 4.2 e 4.3 apresentam o cálculo da correlação de Spearman para as abordagens X e Y, respectivamente.

$$\rho(\text{Corr.1}) = 1 - \frac{6}{12(12^2-1)} * 140 = 1 - 0,48 = 0,52 \quad \left. \vphantom{\rho(\text{Corr.1})} \right\} \quad (4.2)$$

$$\rho(\text{Corr.2}) = 1 - \frac{6}{12(12^2-1)} * 359 = 1 - 1,25 = -0,25 \quad \left. \vphantom{\rho(\text{Corr.2})} \right\} \quad (4.3)$$

Assim, foram obtidos os valores que seguem para ρ e analisados por meio da escala de classificação de Spearman, apresentada na Figura 4.6:

- *Abordagem X para a LPS e-Commerce (Corr.1):* $\rho = 0,52$ - Correlação positiva forte;
 - *Abordagem Y para a LPS e-Commerce (Corr.2):* $\rho = -0,25$ - Correlação negativa fraca;
- **Análise da Correlação:** analisando os resultados obtidos por meio da correlação de Spearman, é notado que essas apresentam níveis de correlação opostas.



Figura 4.6: Escala da Correlação de Spearman (Spearman, 1987).

A Corr.1 (positiva forte) fornece evidências de que o nível de conhecimento dos participantes influencia a aplicação do método PLUS e seus estereótipos para identificar e representar variabilidades em modelos de casos de uso. Em contrapartida, a Corr.2 (negativa fraca) fornece indícios de que o nível de conhecimento dos participantes não influencia a aplicação da abordagem SMarty e seus estereótipos para a identificação e representação de variabilidades em modelos de casos de uso da UML.

Acredita-se que, por causa das diretrizes que SMarty fornece, os participantes não são tão influenciados pelo seu conhecimento prévio para aplicar corretamente SMarty. Outros estudos precisam ser conduzidos para evidenciar tal conclusão.

4.4 Efetividade de SMarty 5.0 para Modelos de Classes

O experimento para a obtenção da efetividade de SMarty em Modelos de Classes da UML é apresentado nesta seção.

No estudo experimental para modelos de classes duas questões de pesquisa (Q.P.) foram estabelecidas:

- Q.P.1 Qual abordagem (PLUS/SMarty) é mais efetiva para identificar e representar variabilidades em modelos de classes em LPS?
- Q.P.2 O nível de conhecimento em LPS e variabilidade dos participantes influencia a aplicação correta das abordagens em modelos UML de classes?

4.4.1 Análise e Interpretação dos Resultados para Classes

Os resultados obtidos por meio da aplicação do método PLUS e da abordagem SMarty para a LPS e-commerce e a LPS *Arcade Game Maker* (AGM) foram submetidos aos testes estatísticos descritos adiante para responder às questões definidas:

- análise e interpretação dos dados coletados para as abordagens X e Y, apresentados na Tabela 4.6, por meio do teste de normalidade Shapiro-Wilk e o teste Mann-Whitney-Wilcoxon, para validar o poder estatístico das amostras; e
- análise e interpretação da correlação de Spearman, entre a efetividade das abordagens e respostas fornecidas pelos participantes no questionário de caracterização.

Tabela 4.6: Resultados Coletados e Estatística Descritiva - Classes (PLUS e SMarty 5.0).

<i>Abordagem X (PLUS)</i>				<i>Abordagem Y (SMarty)</i>			
Modelo de Identificação de Variabilidades	Elementos de Variabilidade Corretos	Elementos de Variabilidade Incorretos	Efetividade	Modelo de Identificação de Variabilidades	Elementos de Variabilidade Corretos	Elementos de Variabilidade Incorretos	Efetividade
1	22	8	14	1	23	7	16
2	19	11	8	2	14	16	-2
3	29	1	28	3	18	12	6
4	29	1	28	4	24	6	18
5	25	5	20	5	29	1	28
6	28	2	26	6	17	13	4
7	29	1	28	7	21	9	12
8	26	4	22	8	16	12	4
9	29	1	28	9	26	4	22
10	29	1	28	10	29	1	28
Média	26,50	3,50	23,00	Média	21,70	8,10	13,60
Desvio Padrão	3,35	3,35	6,71	Desvio Padrão	5,10	4,91	9,99
Mediana	28,50	1,50	27,00	Mediana	22,00	8,00	14,00

A Figura 4.7, apresenta os *Box Plots* com os valores de efetividade apresentados na Tabela 4.6, para cada uma das abordagens (X e Y).

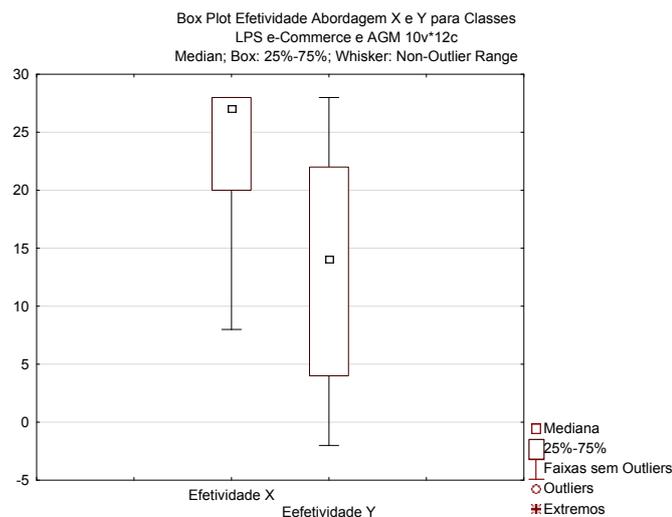


Figura 4.7: Box Plot Efetividade para as Abordagens X e Y - Classes.

4.4.2 Efetividade das Abordagens para Classes (Q.P.1)

- **Teste de Normalidade dos Dados:** o teste de normalidade Shapiro-Wilk foi aplicado e a efetividade foi calculada para os modelos desenvolvidos com as LPSs *e-commerce* e AGM, de cada participante, conforme apresentado nos histogramas da Figura 4.8, indicando os resultados que seguem:

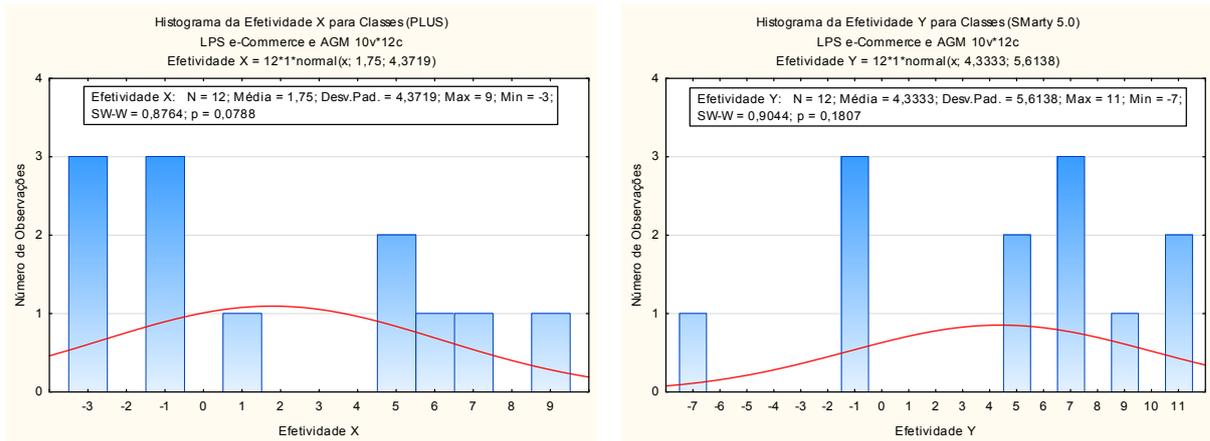


Figura 4.8: Histograma da Amostra da Efetividade para as Abordagens X e Y - Classes (PLUS/SMarty 5.0).

Abordagem X (N=10):

Efetividade para a LPS e-commerce: para a média (μ) 12,8, desvio padrão (σ) 4,0855, a efetividade para a aplicação da abordagem X na LPS *e-commerce* resultou em $p = 0,0147$, ao ser aplicado ao teste de normalidade Shapiro-Wilk.

O teste indicou, para uma amostra (N) de tamanho 10 com 95% de nível de significância ($\alpha = 0,05$), $p = 0,0147$ ($0,0147 < 0,05$) e valor calculado de $W = 0,8005 < W = 0,8420$, que a amostra é considerada não normal.

Efetividade para a LPS Arcade Game Maker: para o valor da média de (μ) 10,2, desvio padrão de (σ) 2,9814, a efetividade obtida por meio da aplicação da abordagem X na LPS *Arcade Game Maker* foi $p = 0,0002$ no teste de *Shapiro-Wilk*.

Logo, para ($\alpha = 0,05$), $p = 0,0002$ ($0,0147 < 0,05$) e o valor calculado (W), $W = 0,6587 < W = 0,8420$, indica que a amostra não é normal.

Efetividade Total: para a média (μ) 23, desvio padrão (σ) 6,8493, a efetividade total para a abordagem X foi de $p = 0,0062$, valor o qual foi obtido pelo teste *Shapiro-Wilk*.

Finalmente, para $(\alpha = 0,05)$, $p = 0,0062$ ($0,0062 < 0,05$) e $W = 0,7697 < W = 0,8420$, a amostra total é considerada não normal.

Abordagem Y (N=10):

Efetividade da LPS e-commerce: para os valores de média (μ) 3,4 e desvio padrão (σ) 8,4876, a efetividade para a abordagem Y utilizada na LPS *e-commerce* foi de $p = 0,3568$, calculada com o teste de normalidade Shapiro-Wilk.

Assim, para um amostra de tamanho 10 com 95% de nível de significância ($\alpha = 0,05$), $p = 0,3568$ ($0,3568 > 0,05$) e $W = 0,9199 > W = 0,8420$, a amostra é considerada normal.

Efetividade para a LPS Arcade Game Maker: Para a média (μ) 10,2, desvio padrão (σ) 3,1559, a efetividade para a abordagem Y, aplicada a LPS AGM foi de $p = 0,3254$, no teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

No mesmo teste, para $(\alpha = 0,05)$, $p = 0,3254$ ($0,3254 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,9160 > W = 0,8420$, a amostra foi considerada normal.

Efetividade Total: Com a média (μ) 10,2 e desvio padrão (σ) 3,1559, o valor total da efetividade para a abordagem X foi de $p = 0,5286$ no teste de Shapiro-Wilk.

Logo, para $(\alpha = 0,05)$, $p = 0,5286$ ($0,5286 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,9777 > W = 0,8420$, a amostra foi considerada normal.

- **Teste Mann-Whitney-Wilcoxon para as amostras de X e Y:** esse teste estatístico não paramétrico pode ser aplicado a amostras independentes ou pareadas. Nesse estudo as amostras são independentes (efetividade da abordagem X e da abordagem Y), a primeira foi identificada como não normal e a segunda normal, respectivamente, e serve como alternativa para o teste paramétrico T. As hipóteses definidas para esse teste são:

- **Hipótese Nula (H_0):** a abordagem X tem, em média, a mesma efetividade da abordagem Y.

$$H_0 : \mu(\text{efetividade}(X)) = \mu(\text{efetividade}(Y));$$

- **Hipótese Alternativa(H_1):** abordagem X e Y tem, em média, efetividade diferentes.

$$H_1 : \mu(\text{efetividade}(X)) <> \mu(\text{efetividade}(Y)).$$

Primeiro, ambas as amostras são unificadas em uma lista, recebendo a identificação de qual abordagem correspondem (X ou Y). Então, pesos são atribuídos do menor para o maior, de acordo com suas posições, sendo que, para valores iguais a média entre as posições que assumem é calculada e utilizada como peso para o empate. Os pesos atribuídos foram somados, conforme apresenta a Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Ranque Mann-Whitney-Wilcoxon - Classes (PLUS/SMarty 5.0)

Ranque Mann-Whitney-Wilcoxon				
Amostra				
PLUS (X) N = 10			SMarty (Y) N = 10	
ID	Amostra		PLUS (X)	SMarty (Y)
1	-2	SMarty		1
2	4	SMarty		2,5
3	4	SMarty		2,5
4	6	SMarty		4
5	8	PLUS	5	
6	12	SMarty		6
7	14	PLUS	7	
8	16	PLUS	8	
9	18	SMarty		9
10	20	PLUS	10	
11	22	PLUS	11,5	
12	22	SMarty		11,5
13	26	PLUS	13	
14	28	PLUS	17	
15	28	PLUS	17	
16	28	PLUS	17	
17	28	PLUS	17	
18	28	SMarty		17
19	28	SMarty		17
20	28	SMarty		17
Total			122,5	87,5

Os valores apresentados na Tabela 4.7, foram aplicados na Equação 4.4:

$$U(\text{abordagem}) = N_1 * N_2 + \frac{N_1 * (N_1 + 1)}{2} - \sum_{i=1}^n total_2 \quad (4.4)$$

Onde:

- $U(\text{abordagem})$ é a equação para cada amostra independente (abordagem);
- N_1 é o tamanho da amostra para a abordagem X, que será calculada;

- N_2 é o tamanho da amostra para a abordagem Y comparada; e
- $total_2$ é a soma dos pesos dados para cada uma das abordagens (Tabela 4.7).

As equações 4.5 e 4.6 apresentam os valores das abordagens X e Y, respectivamente:

$$U(X) = 10 * 10 + \frac{10 * (10 + 1)}{2} - 122,5 = 32,5 \quad (4.5)$$

$$U(Y) = 10 * 10 + \frac{10 * (10 + 1)}{2} - 87,5 = 67,5 \quad (4.6)$$

Após o cálculo das equações para cada amostra, a comparação 4.7 deve ser calculada:

$$U = \min(U(X), U(Y)) \quad (4.7)$$

Onde:

- U é o valor do teste estatístico que permitirá aceitar ou rejeitar a hipótese nula (H_0);
- $\min(U(PLUS), U(SMarty))$ retorna o menor valor entre os valores obtidos por meio das equações 4.5 e 4.6, respectivamente.

Assim, aplicando os valores obtidos nas equações 4.5 and 4.6, foi obtido:

$$U = \min(U(X) = 32,5, U(Y) = 67,5) = 32,5 \quad (4.8)$$

Identificados os valores pelo teste, e apresentada uma diferença significativa dos mesmos, o valor de p é obtido, para a comparação com o nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$). O valor obtido de p foi de 0,020, ou seja $p = 0,020 < \alpha = 0,05$, levando à rejeição da hipótese nula (H_0) e à aceitação da hipótese alternativa (H_1).

O teste estatístico identificou se as duas amostras possuem a mesma distribuição por meio dos pesos atribuídos, neste caso, os pesos para a efetividade calculada,

além da comparação do valor de p com o nível de significância. Logo, há evidências de que a diferença entre os valores da efetividade são estatisticamente diferentes, levando a rejeitar a hipótese nula do estudo (H_0).

Portanto, a diferença estatística obtida no teste de Mann-Whitney-Wilcoxon demonstra evidências de que a abordagem X é mais efetiva que a abordagem Y, para a representação de variabilidades em modelos de classes da UML.

4.4.3 Correlação entre a Efetividade em Classes e o Nível de Conhecimento dos Participantes (Q.P.2)

Assim como no estudo experimental para casos de uso, a correlação de Spearman entre o nível de conhecimento prévio do participante em LPS e variabilidade, e a efetividade obtida pelo modelo no qual se identificou as variabilidades, é calculada.

- **Correlação de Spearman:**

A Tabela 4.8 apresenta os dados necessários para o cálculo da correlação de Spearman para a efetividade das abordagens X e Y e seus respectivos níveis de conhecimento em LPS e variabilidade dos participantes.

O cálculo de cada correlação, de acordo com a abordagem e a LPS (Tabela 4.8) utilizada são apresentados nas Equações 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12.

$$\rho(Corr.1) = 1 - \frac{6}{10(10^2-1)} * 101,5 = 1 - 0,61 = 0,38 \quad \} \quad (4.9)$$

$$\rho(Corr.2) = 1 - \frac{6}{10(10^2-1)} * 157,5 = 1 - 0,95 = 0,05 \quad \} \quad (4.10)$$

$$\rho(Corr.3) = 1 - \frac{6}{10(10^2-1)} * 52,5 = 1 - 0,32 = 0,68 \quad \} \quad (4.11)$$

$$\rho(Corr.4) = 1 - \frac{6}{10(10^2-1)} * 114,75 = 1 - 0,69 = 0,31 \quad \} \quad (4.12)$$

Tabela 4.8: Correlação de Spearman entre a Efetividade das Abordagens X e Y e o Nível de Conhecimento em LPS e Variabilidade dos Participantes.

<i>Abordagem X (PLUS - e-Commerce) - Corr.1</i>							<i>Abordagem Y (Smarty 5.0 - e-Commerce) - Corr.2</i>						
Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a1}	Nível de Conhecimento	r_{b1}	$r_{a1}-r_{b1}$	$d1^2$	Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a2}	Nível de Conhecimento	r_{b2}	$r_{a2}-r_{b2}$	$d2^2$
1	10	8	5	1	7	49	1	16	1,5	3	2,5	-1	1
2	16	3	3	2,5	0,5	0,25	2	10	3	3	2,5	0,5	0,25
3	16	3	3	2,5	0,5	0,25	3	-6	8,5	3	2,5	6	36
4	16	3	2	5,5	-2,5	6,25	4	-6	8,5	3	2,5	6	36
5	16	3	2	5,5	-2,5	6,25	5	4	5	2	6	-1	1
6	14	6	2	5,5	0,5	0,25	6	2	6	2	6	0	0
7	12	7	2	5,5	1,5	2,25	7	-2	7	2	6	1	1
8	16	3	1	9	-6	36	8	16	1,5	1	9	-7,5	56,25
9	8	9	1	9	0	0	9	8	4	1	9	-5	25
10	4	10	1	9	1	1	10	-8	10	1	9	1	1

<i>Abordagem X (PLUS - AGM) - Corr.3</i>							<i>Abordagem Y (SMarty 5.0 - AGM) - Corr.4</i>						
Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a3}	Nível de Conhecimento	r_{b3}	$r_{a3}-r_{b3}$	$d3^2$	Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a4}	Nível de Conhecimento	r_{b4}	$r_{a4}-r_{b4}$	$d4^2$
1	12	4	5	1	3	9	1	12	4	1	9	-5	25
2	12	4	3	2,5	1,5	2,25	2	8	8	1	9	-1	1
3	12	4	3	2,5	1,5	2,25	3	6	9	1	9	0	0
4	12	4	2	5,5	-1,5	2,25	4	14	1,5	2	6	-4,5	20,25
5	12	4	2	5,5	-1,5	2,25	5	14	10	2	6	4	16
6	12	4	2	5,5	-1,5	2,25	6	4	10	2	6	4	16
7	8	8	2	5,5	2,5	6,25	7	12	4	3	2,5	1,5	2,25
8	12	4	1	9	-5	25	8	12	4	3	2,5	1,5	2,25
9	6	9	1	9	0	0	9	10	6,5	3	2,5	4	16
10	4	10	1	9	1	1	10	10	6,5	3	2,5	4	16

Assim, foram obtidos os valores que seguem para ρ e analisados por meio da escala de classificação de Spearman, apresentada na Figura 4.6 (Seção 4.3.3):

- *Abordagem X para a LPS e-Commerce (Corr.1):* $\rho = 0,38$ - Correlação positiva fraca;
- *Abordagem Y para a LPS e-Commerce (Corr.2):* $\rho = 0,05$ - Correlação positiva fraca;
- *Abordagem X para a LPS AGM (Corr.3):* $\rho = 0,68$ - Correlação positiva forte;
- e
- *Abordagem Y para a LPS AGM (Corr.4):* $\rho = 0,31$ - Correlação positiva fraca.

Analisando os resultados obtidos por meio da correlação de Spearman, é possível observar que a abordagem X apresenta uma correlação positiva forte em sua aplicação com a LPS AGM, e que as demais correlações são positivas fracas.

A Corr.1 (positiva fraca) fornece evidências de que o nível de conhecimento dos participantes influencia a aplicação do método PLUS e seus estereótipos para identificar e representar variabilidades em modelos de classes, para a LPS *e-Commerce*. A Corr.2 (positiva fraca), para a mesma LPS *e-Commerce*, fornece evidências de que o nível de conhecimento dos participantes influencia a aplicação da abordagem SMarty para identificar e representar variabilidades em modelos de classes.

A Corr.3 (positiva forte) fornece evidências de que o nível de conhecimento dos participantes influencia de modo maior a aplicação do método PLUS e seus estereótipos a fim de identificar e representar variabilidades em modelos de classes, para a LPS *AGM*. Já Corr.4 (positiva fraca) fornece evidências de uma influência menor na aplicação de SMarty e seus estereótipos para identificar e representar variabilidades em modelos de classes.

Conduzidos pelos resultados de maior efetividade do método PLUS, uma sessão para coleta de *feedback* dos participantes foi realizada logo após a execução do experimento. Assim, a próxima seção apresenta os principais pontos considerados, e a evolução de SMarty 5.0 para modelos de classes.

4.4.4 Evolução da Abordagem SMarty 5.0

Os resultados da efetividade em modelos de classes indicaram que o método PLUS se mostrou mais efetivo na identificação de variabilidades. Com base no *feedback* dos participantes, os principais itens reportados foram:

- **LPS *e-Commerce***: os participantes que aplicaram a abordagem SMarty reportaram dificuldades na identificação de variabilidades da LPS *e-commerce*, em modelos de classes. Esses indicaram que os elementos comumente encontrados em modelos de classes não são apresentados, tais como herança, agregação e generalização. Portanto, há necessidade de analisar a LPS *e-Commerce* com a finalidade de uma possível inclusão de novas diretrizes no *SMartyProcess*, que englobem outros elementos nos quais seja possível representar variabilidade menos representativas na LPS desenvolvida por Gomaa (Gomaa, 2004);
- **Treinamento na aplicação das abordagens**: os participantes indicaram a necessidade de uma sessão de treinamento mais longa, e com possível aplicação de exercícios, para que uma base mais sólida quanto à aplicação das abordagens seja obtida;

- Diferença entre a quantidade de estereótipos entre as abordagens: como a sessão de treinamento ocorreu em um mesmo ambiente, onde, enquanto os participantes da abordagem X realizavam o treinamento os demais, da abordagem Y, liam os instrumentos da sua abordagem e muitos acabaram por observar a diferença considerável de estereótipos de uma abordagem em relação à outra.

Um outro fator que os levaram a questionar quanto a tal diferença, se deve ao fato de que os participantes que receberam a abordagem X terminaram em um tempo menor que os da abordagem Y - média de 27 minutos, em relação a 53 minutos, respectivamente. Entretanto, como o método PLUS foi selecionado por ser referenciado e utilizado em vários trabalhos, o viés causado pela quantidade de estereótipos que apresenta - apenas dois - foi desconsiderado.

É versado que a quantidade de estereótipos tende a facilitar a aplicação do método PLUS, e assim, como evidenciado pelo estudo, permitir a obtenção de uma maior efetividade em relação à abordagem SMarty, que possui oito estereótipos para modelos de classes.

- Ordem das LPSs (descrição e formulários de identificação de variabilidades) entregues aos participantes: a ordem de entrega entre as duas LPSs (*e-commerce* e AGM) foi a mesma para todos os participantes, sendo a primeira a LPS *e-commerce*, que foi identificada como mais complexa que a LPS AGM. Porém, alguns participantes alteraram a ordem de realização, o que tornou a segunda LPS mais fácil de ser resolvida. Logo a distribuição de forma aleatória, e a fixação desta ordem para as LPSs foi mencionada como necessária para eliminar possíveis viés nos resultados.

Tendo como base tais considerações, algumas ações foram estabelecidas para melhorar a abordagem SMarty, bem como algumas análises foram inferidas e também algumas mudanças foram definidas para os experimentos posteriores:

- uma nova diretriz foi adicionada ao *SMartyProcess*, visando a melhoria na identificação de elementos em modelos de classes com nível de abstração menores, como o caso da LPS *e-commerce*, facilitando o uso dos elementos de SMarty em modelos UML de classes;
- com a análise da aplicação do método PLUS, que demonstrou ser mais efetiva, foi observado que, mesmo tendo maior efetividade, a leitura e entendimento dos modelos gerados por sua aplicação dificultam o processo de criação de produtos específicos por ele modelado, visto que o estereótipo <<optional>> pode representar tanto

variantes opcionais, quanto inclusivas e exclusivas. A utilização de um único estereótipo, exige que outros documentos ou modelos sejam fornecidos para a correta instanciação de produtos do núcleo de artefatos, o que não é necessário, tendo o modelo sido modelado com SMarty.

Assim, o que se torna vantagem no processo de identificação e representação de variabilidades, acaba dificultando a atividade dos arquitetos de LPS e demais usuários na utilização de tais modelos UML de classes;

- em relação à distribuição da instrumentação aos participantes, será disponibilizada de forma aleatória, com ordem intercalada e de igual número para evitar o viés apresentado pelos participantes; e
- as sessões de treinamento ocorrerão em ambientes separados, se assim houver disponibilidade de ambiente físico para tal realização.

Para melhorar a identificação de possíveis variabilidades em LPSs menos representativas, como a *e-commerce* para modelos de classe, uma nova diretriz foi adicionada:

CL2. Elementos de modelos de classes, relacionados às associações nas quais os seus atributos *aggregationKind* possuem valor *none*, ou seja, não representam nem agregação nem composição, sugerem variantes obrigatórias ou opcionais.

CL2.1. Elementos de modelos de classes, relacionadas às associações nas quais os seus atributos *aggregationKind* possuem valor * (zero ou mais) ou 0..n onde n é um número inteiro qualquer, diferente de zero, sugerem que tal classe é opcional.

As demais diretrizes para modelos de classes (CL.3 e CL.4) não sofreram alterações.

Para a diretriz CL1, o termo “sugerem” foi adicionado, visto que as diretrizes não devem sobrepor a indicação das descrições da LPS. Essa alteração foi realizada por meio da análise dos modelos gerados pelos participantes, que cometeram erros indicando variabilidades conforme a diretriz indica, não tendo levado em consideração, primeiramente o que a descrição da LPS indicava.

A diretriz CL2 recebeu uma diretriz suplementar, a CL2.1, que fornece suporte à identificação de classes que representam variantes opcionais. A CL2.1 foi criada com base no modelo da LPS *e-commerce*, na qual, como mencionado anteriormente, há a falta de relacionamentos comuns em modelos de classes, como os apresentados na CL1.

A modificação na diretriz CL.1 e a inclusão da diretriz CL.2, por consequência, modificaram a versão da abordagem SMarty, que passou da versão 5.0 para a versão

5.1. Por padronização, a inclusão de novas diretrizes leva à alteração do número decimal, enquanto a inclusão de novos modelos da UML leva ao incremento do algarismo das unidades.

Para validar as mudanças apresentadas em SMarty 5.1, um novo estudo experimental foi realizado, sendo apresentado na próxima seção.

4.4.5 Efetividade de SMarty 5.1 para Modelos de Classes

Primeiro x Segundo Experimento de Classes

O novo experimento para classes foi conduzido e planejado no mesmo molde do primeiro, sofrendo apenas quatro modificações significativas:

- a versão de SMarty, que passou da versão 5.0 para a versão 5.1. SMarty, por meio dos resultados coletados no primeiro experimento evoluiu, com a inclusão da diretriz CL.2.1 e, portanto não configura uma replicação (Mendonca et al., 2008).
- um projeto piloto não foi realizado por não ter ocorrido mudanças na instrumentação nem em qualquer tratamento referente às LPSs usadas.
- a sessão de treinamento foi executada de forma separada para os participantes, visando a eliminação do viés reportado pelos participantes no primeiro experimento (Seção 4.4.4). Assim, a sessão de treinamento ocorreu em três fases em um único local: primeiramente, os conceitos de LPS comuns aos dois grupos foram explicados, em seguida os participantes selecionados de acordo com o nível de conhecimento em UML, LPS e formação, da abordagem Y, se ausentaram da sala. Após a explicação sobre a abordagem X, os participantes desse grupo se retiraram da sala, e os que receberam a abordagem Y retornaram, recebendo assim o treinamento para a sua abordagem. Ao final, todos foram reunidos na sala para a execução experimental;
- aleatoriedade da descrição de LPS e do modelo de classes a ser preenchido. Visando mitigar o problema relacionado à ordem das descrições e modelos de classes a serem preenchidos pelos participantes, as LPSs *e-Commerce* e AGM foram distribuídas de forma aleatória para os participantes de ambos os grupos.

A Figura 4.9 apresenta o conjunto das variáveis independentes e dependentes. A Figura 4.9 a) apresenta as variáveis do experimento prévio da efetividade de classes. É possível observar que a versão do SMarty, a qual corresponde a 5.0 é alterada na Figura 4.9 b) para a versão 5.1, representando a principal mudança nas variáveis do experimento de classes.

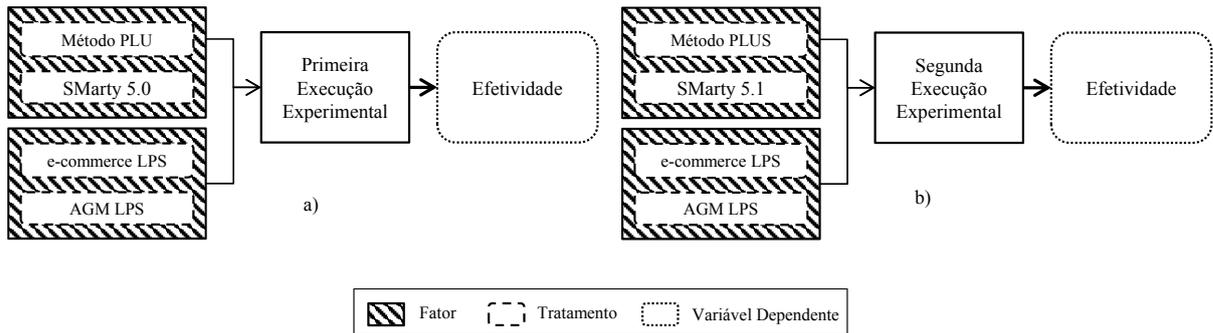


Figura 4.9: Conjunto de Variáveis Independentes e Dependentes do: a) Primeiro e do b) Segundo Experimento de Classes.

Definição do Novo Experimento de Classes

O objetivo desse novo experimento foi **comparar** o método PLUS e a abordagem SMarty 5.1, **com o propósito de** caracterizar o mais efetivo, **em relação à** sua capacidade de identificação e representação de variabilidades em Linhas de Produto de Software em modelos de Classes da UML, **do ponto de vista de** arquitetos de linha de produto de software, **no contexto de** alunos de mestrado e doutorado na área de Engenharia de Software da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS), para as LPSs *e-Commerce* e *AGM*.

O modelo GQM (Differding et al., 1996) segue as mesmas questões definidas para o primeiro experimento de classes (Seção 4.4). O planejamento e a execução, com exceção da seleção dos participantes, seguiu as mesmas definições do primeiro experimento, assim foram omitidos nesta seção.

Seleção dos participantes: foram selecionados para esse estudo um total de 3 alunos de mestrado e 7 alunos de doutorado da área de Engenharia de Software da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS).

Efetividade de SMarty 5.1 para Modelos de Classes (Q.P.1)

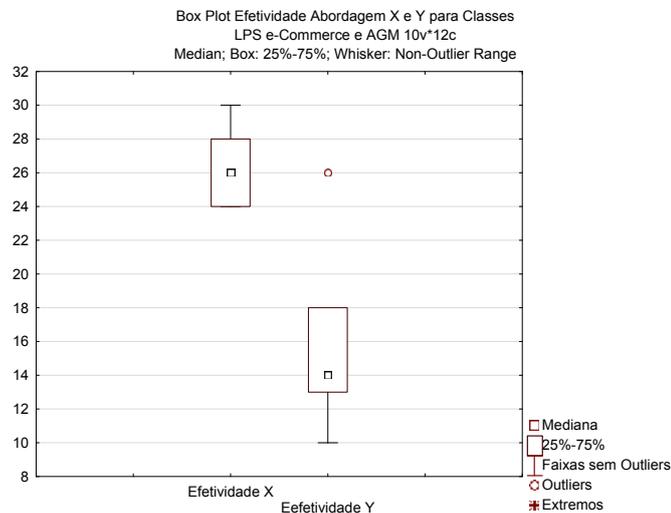
A Tabela 4.9 apresenta os dados coletados e a estatística descritiva dos mesmos para o segundo experimento para modelo de classes da UML.

A Figura 4.10, apresenta os *Box Plots* com os valores de efetividade apresentados na Tabela 4.9, para cada uma das abordagens (X e Y).

- **Teste de Normalidade para os Dados Coletados:** o teste de normalidade Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965) foi aplicado para os resultados obtidos pelos modelos de identificação de variabilidades para as LPS *e-commerce* e *AGM* (Tabela

Tabela 4.9: Resultados Coletados e Estatística Descritiva - Classes (PLUS/SMarty 5.1).

<i>Abordagem X (PLUS)</i>				<i>Abordagem Y (SMarty 5.1)</i>			
Modelo de Identificação de Variabilidades	Elementos de Variabilidade Corretos	Elementos de Variabilidade Incorretos	Efetividade	Modelo de Identificação de Variabilidades	Elementos de Variabilidade Corretos	Elementos de Variabilidade Incorretos	Efetividade
1	29,0	1,0	28,0	1	23,0	5,0	18,0
2	28,0	2,0	26,0	2	20,0	10,0	10,0
3	30,0	0,0	30,0	3	28,0	2,0	26,0
4	27,0	3,0	24,0	4	22,0	9,0	13,0
5	27,0	3,0	24,0	5	22,0	8,0	14,0
Média	28,20	1,80	26,40	Média	23,00	6,80	16,20
Desvio Padrão	1,17	1,17	2,33	Desvio Padrão	2,68	2,93	5,53
Mediana	28,00	2,00	26,00	Mediana	22,00	8,00	14,00

**Figura 4.10:** Box Plot Efetividade para as Abordagens X e Y - Classes.

4.9) de cada participante, conforme apresentado nos histogramas da Figura 4.11, indicando os resultados que seguem:

Abordagem X (N=5):

Efetividade para a LPS e-commerce: Para a média (μ) 13.60, desvio padrão (σ) 2,33, a efetividade para a abordagem X aplicada a LPS *e-commerce* foi de $p = 0,42$, no teste Shapiro-Wilk.

Assim, para a amostra (N) de tamanho 5 com 95% de nível de significância ($\alpha = 0,05$), $p = 0,42$ ($0,42 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,90 > W = 0,76$, a amostra é considerada normal.

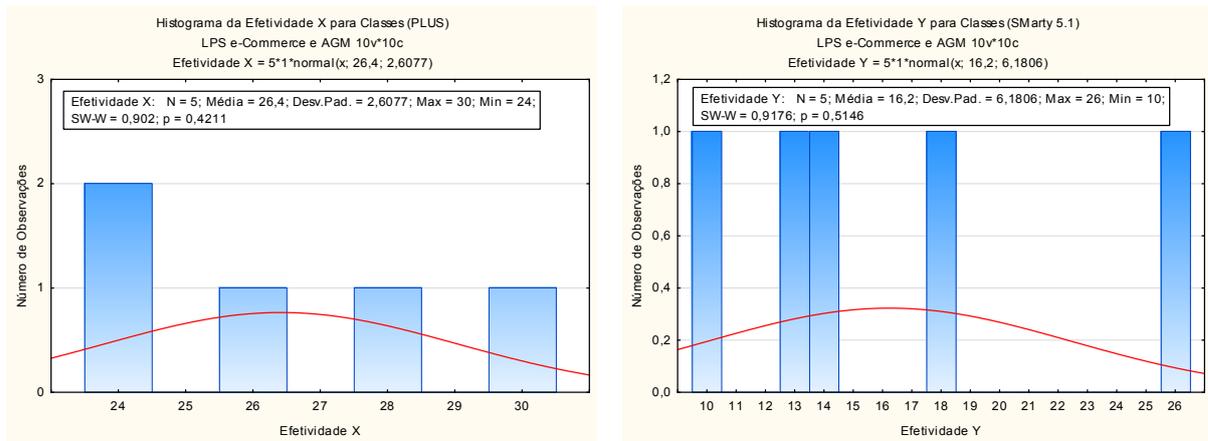


Figura 4.11: Histograma da Amostra da Efetividade para as Abordagens X e Y - Classes (PLUS/SMarty 5.1).

Efetividade para a LPS AGM: Para média de (μ) 12,80, desvio padrão de (σ) 1,60, a efetividade para a abordagem X, aplicada a LPS AGM foi de $p = 0,45$ para o teste *Shapiro-Wilk*.

Logo, para ($\alpha = 0,05$), $p = 0,45$ ($0,45 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,77 > W = 0,76$, a amostra é considerada normal.

Efetividade total: Com média (μ) 26,40 e desvio padrão (σ) 2,33, a efetividade total para a abordagem X foi de $p = 0,42$ no teste de Shapiro-Wilk.

Finalmente, para ($\alpha = 0,05$), $p = 0,42$ ($0,42 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,90 > W = 0,76$, a amostra é considerada normal.

Abordagem Y (N=5):

Efetividade para a LPS e-commerce: Para a média (μ) 2,60, desvio padrão de (σ) 5,71, a efetividade da abordagem Y aplicada a LPS e-commerce foi de $p = 0,60$ para o teste de Shapiro-Wilk.

Para uma amostra (N) = 5 com 95% de nível de significância ($\alpha = 0,05$), $p = 0,60$ ($0,60 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,93 > W = 0,76$, a amostra é considerada normal.

Efetividade para a LPS AGM: Para a média (μ) 13,60, desvio padrão de (σ) 0,80, a efetividade obtida na aplicação da abordagem Y na LPS AGM foi de $p = 0,0001$, para o teste Shapiro-Wilk.

Nesse mesmo teste, para ($\alpha = 0,05$), $p = 0,0001$ ($0,0001 < 0,05$) e valor calculado de $W = 0,55 < W = 0,76$, a amostra foi considerada não normal.

Efetividade Total: Média (μ) 16,20, desvio padrão de (σ) 5,52, o total de efetividade para a abordagem Y foi de $p = 0,51$, também para o teste de Shapiro-wilk.

Desta maneira, para ($\alpha = 0,05$), $p = 0,51$ ($0,51 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,91 > W = 0,76$, a amostra foi considerada normal.

- **Teste T para as Amostras de X e Y**: as hipóteses que seguem foram definidas para a verificação no teste T:

- **Hipótese Nula (H_0)**: a abordagem X tem, em média, a mesma efetividade que a abordagem Y.

$$H_0 : \mu(\text{efetividade}(X)) = \mu(\text{efetividade}(Y));$$

- **Hipótese Alternativa (H_1)**: a abordagem X é, em média, mais efetiva que a abordagem Y.

$$H_1 : \mu(\text{efetividade}(X)) - \mu(\text{efetividade}(Y)) > 0.$$

- **Hipótese Alternativa (H_2)**: a abordagem Y é, em média, mais efetiva que a abordagem X.

$$H_1 : \mu(\text{efetividade}(Y)) - \mu(\text{efetividade}(X)) > 0.$$

Primeiramente, o valor de T foi calculado. Utilizando o valor da média da amostra Y ($\mu_1 = 16,20$) e da amostra X ($\mu_2 = 26,40$), com desvio padrão de $\sigma_1 = 5.52$ e $\sigma_2 = 2.33$, respectivamente, e amostra de tamanho 5 ($N = 5$), foi obtido o valor de $t_{\text{calculado}} = -4,07$.

Utilizando o tamanho da amostra ($N = 5$), é calculado o grau de liberdade (df), que combinado com o valor de t indica qual o valor de t crítico deve ser selecionado para o teste de hipóteses.

Buscando pelo índice $df = 8$ e definido o valor de t na tabela T (*student*), o valor crítico de t foi encontrado, que corresponde a 2,30 ($t_{\text{critico}} = 2,30$), para o nível de significância (α) de 0,05. Portanto, comparando t_{critico} com o $t_{\text{calculado}}$ a hipótese nula H_0 deve ser rejeitada e a hipótese (H_2) aceita ($t_{\text{calculado}}(-4,3078) > t_{\text{critico}}(-2,30)$).

Dessa maneira, baseado no resultado do teste T, a hipótese nula (H_0) desse estudo experimental deve ser rejeitada, e a hipótese alternativa (H_2) aceita, o que fornece

evidências de que a abordagem X (PLUS) é mais efetivo que a abordagem Y (SMarty 5.1) para representar variabilidades em modelos de classes.

Correlação entre a Efetividade em Classes e o Nível de Conhecimento dos Participantes (Q.P.2) - Segunda Iteração

Para a identificação da influência do conhecimento prévio dos participantes com relação à efetividade obtida das abordagens X e Y a correlação de Spearman foi calculada.

- **Correlação de Spearman:** A Equação 4.1 (Seção 4.3.2) apresenta a fórmula utilizada para o cálculo de ρ , para a correlação de Spearman.

A Tabela 4.10 apresenta os dados necessários para o cálculo da correlação de Spearman, entre a efetividade das abordagens X e Y e o nível de conhecimento em LPS, para as LPSs *e-commerce* e AGM.

Tabela 4.10: Correlação de Spearman entre a Efetividade das Abordagens X (PLUS) e Y (SMarty 5.1) e o Nível de Conhecimento em LPS e Variabilidades dos Participantes.

<i>Abordagem X (PLUS - e-commerce) - Corr.1</i>							<i>Abordagem X (PLUS - AGM) - Corr.2</i>						
Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a1}	Nível de Conhecimento	r_{b1}	$r_{a1}-r_{b1}$	$d1^2$	Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a1}	Nível de Conhecimento	r_{b1}	$r_{a1}-r_{b1}$	$d1^2$
1	16	1,5	3	1	1	0	1	14,00	2,0	1	4,5	-3	6
2	16	1,5	2	2,5	-1	1	2	14,00	2,0	3	1	1	1
3	14	3	1	4,5	-2	2	3	14,00	2	1	4,5	-3	6
4	12	4	1	4,5	-1	0	4	12,00	4,0	2	2,5	2	2
5	10	5	2	2,5	3	6	5	10,00	5,0	2	2,5	3	6
<i>Abordagem Y (SMarty 5.1 - e-Commerce) - Corr. 3</i>							<i>Abordagem Y (SMarty - AGM) - Corr. 4</i>						
Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a1}	Nível de Conhecimento	r_{b1}	$r_{a1}-r_{b1}$	$d1^2$	Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a1}	Nível de Conhecimento	r_{b1}	$r_{a1}-r_{b1}$	$d1^2$
1	26,00	1,0	2	4,5	-4	12	1	14,00	2,5	5	1	2	2
2	18,00	2,0	3	2,5	-1	0	2	14,00	2,5	3	2,5	0	0
3	14,00	3	2	4,5	-2	2	3	12,00	5	3	2,5	3	6
4	13,00	4,0	3	2,5	2	2	4	14,00	2,5	2	4,5	-2	4
5	10,00	5,0	5	1	4	16	5	14,00	2,5	2	4,5	-2	4

Os cálculos para a correlação, de acordo com as abordagens X e Y para as LPSs *e-commerce* e AGM são apresentado nas Equações 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16.

$$\rho(\text{Corr.1}) = 1 - \frac{6}{5(5^2-1)} * 10 = 1 - 0,50 = 0,50 \quad \left. \vphantom{\rho(\text{Corr.1})} \right\} (4.13)$$

$$\rho(\text{Corr.2}) = 1 - \frac{6}{5(5^2-1)} * 22 = 1 - 1,10 = -0,10 \quad \} \quad (4.14)$$

$$\rho(\text{Corr.3}) = 1 - \frac{6}{5(5^2-1)} * 33 = 1 - 1,65 = -0,65 \quad \} \quad (4.15)$$

$$\rho(\text{Corr.4}) = 1 - \frac{6}{5(5^2-1)} * 17 = 1 - 0,82 = 0,17 \quad \} \quad (4.16)$$

Com os valores obtidos de ρ , esses são classificados na escala de Spearman apresentada na Figura 4.6 (Seção 4.3.3):

- *Abordagem X para a LPS e-commerce (Corr.1):* $\rho = 0,50$ - Correlação positiva forte;
- *Abordagem X para a LPS AGM (Corr.2):* $\rho = -0,10$ - Correlação negativa fraca;
- *Abordagem Y para a LPS e-commerce (Corr.3):* $\rho = -0,65$ - Correlação negativa forte; e
- *Abordagem Y para a LPS AGM (Corr.4):* $\rho = 0,17$ - Correlação positiva fraca.

Analisando os resultados obtidos na correlação de Spearman, percebe-se que todos eles apresentam uma classificação diferente.

A abordagem Y apresentou uma correlação negativa forte para a LPS *e-commerce* e uma correlação positiva fraca para a LPS AGM logo, a abordagem sofre menor interferência do nível de conhecimento do participante na LPS *e-commerce*, enquanto que, na aplicação da mesma para a LPS AGM, há maior relação entre o nível de conhecimento prévio do participante em LPS e a aplicação da abordagem, porém em nível inferior se comparado com os resultados da abordagem X.

É importante mencionar que, as diretrizes do processo definido na abordagem Y auxiliam no processo de classificação e identificação de variabilidades em modelos UML, o que pode ter levado ao resultado da aplicação da mesma na LPS *e-commerce*. Uma outra posição quanto às correlações, está também na facilidade de aplicação da abordagem X em relação a abordagem Y, por possuir apenas dois estereótipos.

A abordagem X apresentou correlação positiva forte, para a LPS *e-commerce* e negativa fraca para a LPS *AGM*. Assim, o nível de conhecimento prévio em LPS para os participantes influenciou em maior escala a aplicação da abordagem X, mesmo apresentando um conjunto menor de estereótipos.

Os dois estereótipos da abordagem X, um para os elementos comuns (`<<kernel>>`) e outro para elementos variantes (`<<optional>>`), torna a aplicação e identificação das variabilidades trivial.

O processo de classificação e identificação das classes facilitado não significa, porém a construção de produtos consistentes. Arquitetos de LPS podem, ao se deparar com o estereótipo `<<optional>>` resolver um ponto de variação de forma diferente, ou mesmo, confundir um ponto de variação com uma variante. Como tal estereótipo representa restrições entre variantes do tipo mutuamente exclusiva (XOR), inclusiva (OR) e também opcional, a construção de um produto de forma consistente, torna-se mais difícil de ser executada. Esse exemplo é apresentado na Figura 4.12.

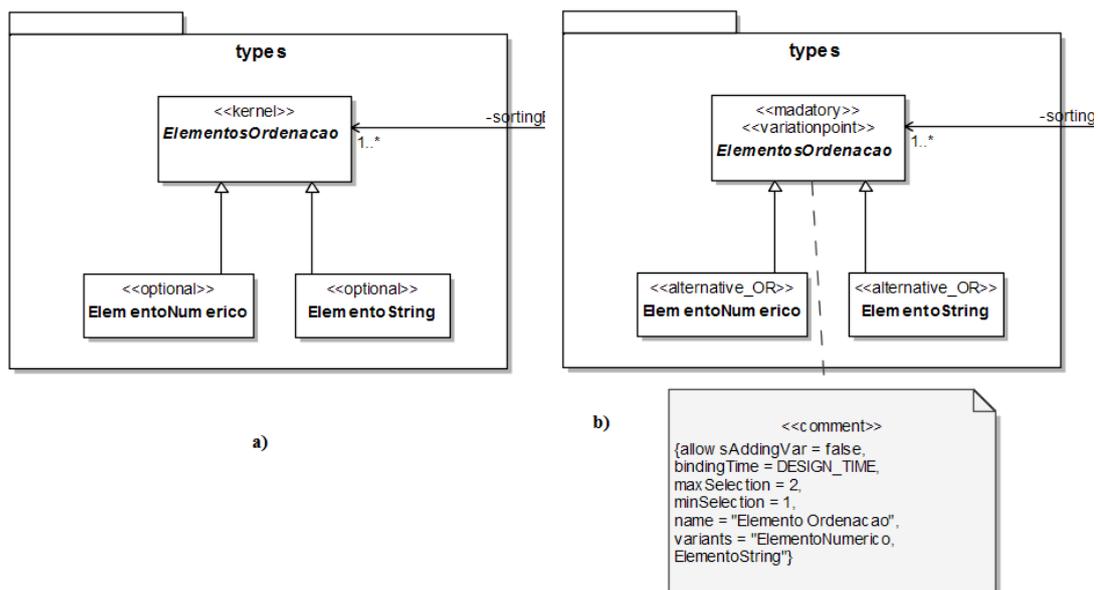


Figura 4.12: Excerto de Modelo de Classes de uma LPS representada com Método PLUS (a) e SMarty (b)

Na Figura 4.12b) é apresentado um exemplo de aplicação dos estereótipos da abordagem Y. Nela é facilmente identificado o ponto de variação, e que o mesmo é obrigatório. São apresentados também duas variantes aplicadas à uma restrição inclusiva (OR), e ainda é possível observar quando esta variabilidade será resolvida, entre outros atributos no comentário UML que define as propriedades da varia-

bilidade chamada *Elemento Ordenacao*. Já a Figura 4.12a) apresenta a mesma variabilidade, porém utilizando os estereótipos da abordagem X.

A restrição entre variantes opcionais, indica que a variante pode ser incluída ou não no produto derivado, assim, o uso de tal estereótipo pode levar a um entendimento incorreto, pois na abordagem X, tal elemento indica, não apenas opcionalidade, mas restrições inclusivas ou mutuamente exclusivas. Finalmente, derivar um produto corretamente, com base apenas em um modelo de classes, modelado com a abordagem X, torna-se uma atividade complexa e arriscada, necessitando assim de outros modelos ou documentos complementares que indiquem qual o tipo de restrição o estereótipo <<optional>> está representando.

4.5 Efetividade de SMarty 5.0 para Modelos de Sequência

O estudo experimental para a identificação da efetividade de SMarty, para modelos de sequência da UML é apresentado neste seção.

Seguindo o modelo utilizado nos experimentos anteriores, duas questões de pesquisa (Q.P.) foram estabelecidas, baseadas no modelo GQM (Differding et al., 1996):

Q.P.1 Qual abordagem (Ziadi et al./SMarty) é mais efetiva para identificar e representar variabilidades em modelos de sequência em LPS?

Q.P.2 O nível de conhecimento em LPS e variabilidade dos participantes influencia a aplicação correta das abordagens em modelos UML de sequência?

4.5.1 Análise e Interpretação dos Resultados para Modelos de Sequência

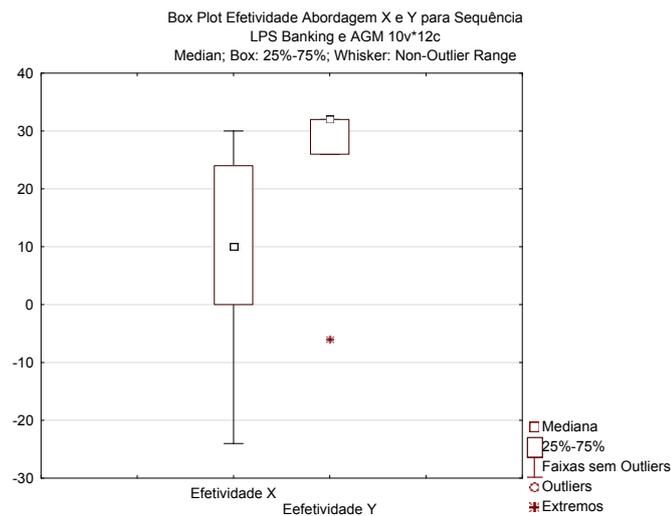
Com base nos resultados coletados (Tabela 4.11 pela aplicação da abordagem X e Y nos modelos de sequência para as LPSs *Banking* (Ziadi e Jezequel, 2006) e *Arcade Game Maker*, os passos a seguir foram executados para responder as questões (Q.P.) definidas anteriormente:

- análise e interpretação dos dados coletados de X e Y (amostra) apresentados na Tabela 4.11 por meio do teste de normalidade Shapiro-Wilk e teste T, para validar seu poderio estatístico, visando identificar a abordagem mais efetiva; e
- análise e interpretação da correlação entre nível de conhecimento prévio dos participantes em LPS e efetividade das abordagens, por meio da correlação de Spearman.

Tabela 4.11: Resultados Coletados e Estatística Descritiva - Sequência.

<i>Abordagem X (Ziadi et al.)</i>				<i>Abordagem Y (SMarty 5.0)</i>			
Modelo de Identificação de Variabilidades	Elementos de Variabilidade Corretos	Elementos de Variabilidade Incorretos	Efetividade	Modelo de Identificação de Variabilidades	Elementos de Variabilidade Corretos	Elementos de Variabilidade Incorretos	Efetividade
1	19,0	13,0	6,0	1	29,0	3,0	26,0
2	19,0	9,0	10,0	2	32,0	0,0	32,0
3	4,0	28,0	-24,0	3	32,0	0,0	32,0
4	31,0	1,0	30,0	4	32,0	0,0	32,0
5	23,0	9,0	14,0	5	29,0	3,0	26,0
6	28,0	4,0	24,0	6	32,0	0,0	32,0
7	16,0	16,0	0,0	7	13,0	19,0	-6,0
Média	20,00	11,43	8,57	Média	28,43	3,57	24,86
Desvio Padrão	8,18	8,23	16,34	Desvio Padrão	6,43	6,43	12,87
Mediana	19,00	9,00	10,00	Mediana	32,00	0,00	32,00

A Figura 4.13 apresenta os *Box Plots* com os valores de efetividade (Tabela 4.11) para cada uma das abordagens (X e Y), para modelos de Sequência.

**Figura 4.13:** Box Plot de Efetividade para as Abordagens X e Y - Sequência.

4.5.2 Efetividade das Abordagens para Modelo de Sequência (Q.P.1)

- **Teste de Normalidade dos Dados:** por meio da aplicação do teste de normalidade Shapiro-Wilk, para os resultados da efetividade coletados para a LPS *Banking* e AGM aplicados às abordagens X e Y em modelos de sequência (Tabela 4.11), conforme apresentado nos histogramas da Figura 4.14, indicando os resultados que seguem:

Abordagem X (N=7):

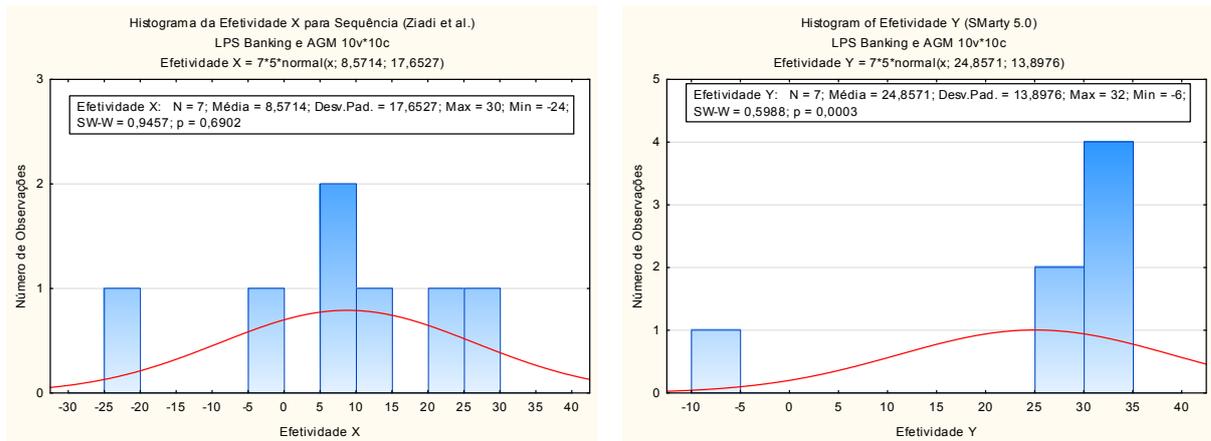


Figura 4.14: Histograma da Amostra da Efetividade para as Abordagens X e Y - Sequência.

Efetividade para a LPS Banking: para a média (μ) 2,71 e desvio padrão de (σ) 3,91, o valor de p obtido para a efetividade da aplicação da abordagem X na LPS Banking foi de $p = 0,13$ por meio do cálculo proposto no teste de normalidade Shapiro-Wilk.

Nesse mesmo teste, para a amostra (N) de tamanho 7 com 95% de nível de significância ($\alpha = 0,05$), $p = 0,13$ ($0,13 > 0,05$) e valor calculado $W = 0,83 > W = 0,80$, o teste indicou normalidade da amostra.

Efetividade para a LPS AGM: com a média (μ) 5,85 e desvio padrão de (σ) 14,49, a efetividade para a abordagem X aplicada a LPS AGM obteve o valor de $p = 0,48$ no teste de Shapiro-Wilk.

Logo, para o nível de significância de ($\alpha = 0,05$), $p = 0,48$ ($0,48 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,92 > W = 0,80$, a amostra foi considerada normal.

Efetividade Total: para a média (μ) 8,57 e desvio padrão de (σ) 16,34, a efetividade total para a abordagem X obteve $p = 0,69$ no teste de Shapiro-Wilk.

Nesse teste, para o nível de significância de ($\alpha = 0,05$), $p = 0,69$ ($0,69 > 0,05$) e valor calculado de $W = 0,94 < W = 0,80$, a amostra foi considerada normal.

Abordagem Y (N=7):

Efetividade para a LPS Banking: média de (μ) 4,71 e desvio padrão (σ) 3,10, a efetividade da abordagem Y aplicada a LPS Banking obteve o valor de $p = 0,01$ no teste de Shapiro-Wilk.

Assim, para uma amostra (N) de tamanho 7 com 95% de nível de significância ($\alpha = 0,05$), $p = 0,01$ ($0,01 < 0,05$) e valor calculado de $W = 0,74 < W = 0,80$, a amostra foi considerada não normal.

Efetividade para a LPS AGM: para a média (μ) 20,14 e desvio padrão de (σ) 10,35, a efetividade para a abordagem Y aplicada a LPS AGM obteve um valor de $p = 0,00003$ no teste Shapiro-Wilk.

Assim, para ($\alpha = 0,05$), $p = 0,00003$ ($0,00003 < 0,05$) e valor calculado de $W = 0,52 > W = 0,80$, a amostra foi considerada não normal.

Efetividade Total: para a média (μ) 24,8 e desvio padrão de (σ) 12,86, a abordagem Y obteve, para a efetividade total, $p = 0,0002$ no teste Shapiro-Wilk.

Portanto, para ($\alpha = 0,05$), $p = 0,0002$ ($0,0002 < 0,05$) e valor calculado de $W = 0,59 < W = 0,80$, a amostra foi considerada não normal.

- **Teste Mann-Whitney-Wilcoxon para as amostras de X e Y:** as hipóteses a seguir foram definidas para a identificação da amostra referente a efetividade, coletada para a abordagem X e Y:
 - **Hipótese Nula (H_0):** a abordagem X tem, em média, a mesma efetividade da abordagem Y.

$$H_0 : \mu(\text{efetividade}(X)) = \mu(\text{efetividade}(Y));$$
 - **Hipótese Alternativa (H_1):** abordagem X e Y tem, em média, efetividade diferentes.

$$H_1 : \mu(\text{efetividade}(Y)) <> \mu(\text{efetividade}(X)).$$

No teste Mann-Whitney-Wilcoxon, ambas as amostras são unificadas e ordenadas em ordem decrescente (Tabela 4.12), segundo os valores da efetividade, mantendo a identificação de qual abordagem corresponde. Em seguida, pesos são aplicados de acordo com a posição de cada valor (Coluna ID na Tabela 4.12), sendo que, valores iguais recebem a média dos valores das posições como peso.

Após a atribuição dos pesos para cada valor, as amostras têm seus pesos somados por abordagem, conforme apresenta a Tabela 4.12.

Os valores apresentados na Tabela 4.7, foram aplicados na Equação 4.4.

Tabela 4.12: Ranque Mann-Whitney-Wilcoxon - Sequência

Ranque Mann-Whitney-Wilcoxon				
Amostra				
Ziadi et al. (X) N = 7			SMarty 5.0 (Y) N = 7	
ID	Amostra		PLUS (X)	SMarty (Y)
1	-24	Ziadi	1	
2	-6	SMarty		3
3	0	Ziadi	3	
4	6	Ziadi	4	
5	10	Ziadi	5	
6	14	Ziadi	6	
7	24	Ziadi	7	
8	26	SMarty		8,5
9	26	SMarty		8,5
10	30	Ziadi	10	
11	32	SMarty		12,5
12	32	SMarty		12,5
13	32	SMarty		12,5
14	32	SMarty		12,5
Total			36	70

As Equações 4.17 e 4.18 apresentam os valores calculados para a abordagem X e Y, respectivamente:

$$U(X) = 7 * 7 + \frac{7 * (7 + 1)}{2} - 36 = 41 \quad (4.17)$$

$$U(Y) = 7 * 7 + \frac{7 * (7 + 1)}{2} - 70 = 7 \quad (4.18)$$

Aplicando os valores obtidos nas Equações 4.17 e 4.18, foi obtido:

$$U = \min(U(X) = 7, U(Y) = 41) = 7 \quad (4.19)$$

Identificados os valores pelo teste, e apresentada uma diferença significativa dos mesmos, o valor de p é obtido, para a comparação com o nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$). O valor obtido de p foi de 0,038, ou seja $p = 0,038 < \alpha = 0,05$, levando à rejeição da hipótese nula (H_0) e à aceitação da hipótese alternativa (H_1).

Dessa maneira, o teste estatístico de Mann-Whitney-Wilcoxon que evidencia se duas amostras têm diferenças estatísticas por meio de pesos, indicou que as abordagens possuem diferenças consideráveis quanto à sua efetividade. A abordagem Y apresentou maior efetividade que a abordagem X para a representação de variabilidades em modelos de sequência da UML, logo a hipótese nula (H_0) do estudo foi rejeitada, indicando que há diferença entre os valores da efetividade para as abordagens X e Y.

4.5.3 Correlação entre a Efetividade e o Nível de Conhecimento dos Participantes em Modelos de Sequência (Q.P.2)

Para a identificação da possível influência do conhecimento prévio dos participantes em LPS na aplicação das abordagens, a correlação de Spearman foi calculada.

- **Correlação de Spearman:** A Equação 4.1 (Seção 4.3.2) apresenta a fórmula para o cálculo de ρ , na qual n é o tamanho da amostra.

A Tabela 4.13 apresenta os dados utilizados para o cálculo da equação de Spearman para as abordagens X e Y e o nível de conhecimento dos participantes, para cada uma das LPSs utilizadas.

Tabela 4.13: Correlação de Spearman entre a Efetividade das Abordagens X (Ziadi) e Y (SMarty 5.0) e o Nível de Conhecimento em LPS e Variabilidades dos Participantes.

<i>Abordagem X (Ziadi - Banking) - Corr.1</i>							<i>Abordagem X (Ziadi - AGM) - Corr.2</i>						
Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a1}	Nível de Conhecimento	r_{b1}	$r_{a1}-r_{b1}$	$d1^2$	Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a1}	Nível de Conhecimento	r_{b1}	$r_{a1}-r_{b1}$	$d1^2$
1	7	1	1	6,50	-5,50	30,25	1	25	1	2	4,50	-3,50	12,25
2	5	3	1	6,50	-3,50	12,25	2	21	2	3	2,50	-0,50	0,25
3	5	3	2	4,50	-1,50	2,25	3	9	3	3	2,50	0,50	0,25
4	5	3	3	2,50	0,50	0,25	4	5	4	4	1,00	3,00	9,00
5	3	5	3	2,50	2,50	6,25	5	3	5	1	6,50	-1,50	2,25
6	-1	6	2	4,50	1,50	2,25	6	1	6	1	6,50	-0,50	0,25
7	-5	7	4	1,00	6,00	36,00	7	-23	7	2	4,50	2,50	6,25

<i>Abordagem Y (SMarty 5.0 - Banking) - Corr.3</i>							<i>Abordagem Y (SMarty 5.0 - AGM) - Corr.4</i>						
Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a1}	Nível de Conhecimento	r_{b1}	$r_{a1}-r_{b1}$	$d1^2$	Modelo de Identificação de Variabilidades	Efetividade	r_{a2}	Nível de Conhecimento	r_{b2}	$r_{a2}-r_{b2}$	$d2^2$
1	7	4,25	5	1,50	2,75	7,56	1	25	3	4	3,50	-0,50	0,25
2	7	4,25	5	1,50	2,75	7,56	2	25	3	5	1,50	1,50	2,25
3	7	4,25	4	3,50	0,75	0,56	3	25	3	4	3,50	-0,50	0,25
4	1	6,00	4	3,50	2,50	6,25	4	25	3	5	1,50	1,50	2,25
5	7	4,25	3	5,50	-1,25	1,56	5	25	3	3	5,50	-2,50	6,25
6	-1	7,00	3	5,50	1,50	2,25	6	21	6	2	7,00	-1,00	1,00
7	5	5,00	2	7,00	-2,00	4,00	7	-5	7	3	5,50	1,50	2,25

Os cálculos para a correlação entre as abordagens X e Y e as LPSs *Banking* e AGM são apresentados nas Equações 4.20, 4.21, 4.22 e 4.23:

$$\rho(\text{Corr.1}) = 1 - \frac{6}{7(7^2-1)} * 90 = 1 - 1,60 = -0,60 \quad \} \quad (4.20)$$

$$\rho(\text{Corr.2}) = 1 - \frac{6}{7(7^2-1)} * 31 = 1 - 0,54 = 0,45 \quad \} \quad (4.21)$$

$$\rho(\text{Corr.3}) = 1 - \frac{6}{7(7^2-1)} * 29,75 = 1 - 0,53 = 0,47 \quad \} \quad (4.22)$$

$$\rho(\text{Corr.4}) = 1 - \frac{6}{7(7^2-1)} * 14,5 = 1 - 0,25 = 0,75 \quad \} \quad (4.23)$$

Por meio das equações mostradas foram obtidos os valores de ρ , bem como a classificação desses na escala de Spearman, apresentada na Figura 4.6 (Seção 4.3.3):

- *Abordagem X para a LPS Banking (Corr.1):* $\rho = -0,60$ - Correlação negativa forte;
- *Abordagem X para a LPS AGM (Corr.2):* $\rho = 0,45$ - Correlação positiva fraca;
- *Abordagem Y para a LPS Banking (Corr.3):* $\rho = 0,47$ - Correlação positiva fraca;
- *Abordagem Y para a LPS AGM (Corr.4):* $\rho = 0,75$ - Correlação positiva forte;

Com a análise dos resultados obtidos na correlação de Spearman, as seguintes evidências foram obtidas:

A Corr.1 (negativa forte) indica que o nível de conhecimento dos participantes pode ter sofrido uma pequena parcela de influência na aplicação da abordagem de Ziadi et al. para a LPS *Banking*. A Corr.2 (positiva fraca) indica uma possível influência, um pouco maior, na aplicação da abordagem de Ziadi et al. para a LPS AGM.

A Corr.3 (positiva fraca) sugere que o nível de conhecimento dos participantes pode ter influenciado na aplicação de SMarty 5.0 e seus estereótipos com a finalidade

de identificar e representar variabilidades em modelos de sequência, para a LPS *Banking*. Já Corr.4 (positiva forte) dá indícios de uma influência maior do conhecimento, na aplicação de SMarty 5.0 e seus estereótipos para identificar e representar variabilidades em modelos de sequência na LPS AGM.

4.6 Análise e Interpretação dos Resultados Gerais

Os resultados dos estudos experimentais realizados são resumidos na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Resumo dos Resultados dos Estudos Experimentais Realizados.

Resultados								
Item	Estudo Experimental							
	Casos de Uso		Classes (Primeiro Estudo)		Classes (Segundo Estudo)		Sequência	
Método/Abordagem	PLUS	SMarty 5.0	PLUS	SMarty 5.0	PLUS	SMarty 5.1	Ziadi et al.	SMarty 5.0
Efetividade	1,75	4,33	23,00	13,60	26,4	16,20	8,57	24,86
	SMarty foi mais efetivo.		PLUS foi mais efetivo.		PLUS foi mais efetivo.		SMarty foi mais efetivo.	
Correlação	0,52	0,38	0,53	0,18	0,22	0,29	-0,07	0,61
	Positiva Forte	Positiva Moderada	Positiva Moderada	Positiva Fraca	Positiva Fraca	Positiva Fraca	Positiva Fraca	Positiva Forte

Os valores apresentados na linha Efetividade (Tabela 4.14), para cada estudo experimental, correspondem a efetividade calculada com base na equação apresentada na Seção 4.2. A diferença entre os números dessa equação, para os diferentes experimentos, está relacionado à quantidade de elementos representados e avaliados em cada modelo UML, resolvido pelos participantes para diferentes LPSs. Para casos de uso, por exemplo, apenas uma LPS foi utilizada, o que justifica um número menor para o valor da efetividade calculada.

Os resultados obtidos permitem inferir as seguintes análises e evidências:

- para o experimento de casos de uso, executado cronologicamente primeiro, foi percebida a efetividade da abordagem SMarty (4,33) perante o método PLUS (1,75).

A correlação entre o nível de conhecimento prévio dos participantes em LPS e a efetividade, em média, indica para o método PLUS, uma correlação positiva forte (0,52), o que evidencia que o resultado para o método pode ter sido influenciado diretamente pelo conhecimento do participante em LPS.

Entretanto, para a abordagem SMarty, considerada a mais efetiva, em média, a correlação é negativa fraca (-0,25), ou seja, inferior à obtida pelo método PLUS, o que permite inferir que o nível de conhecimento afetou de forma mais sutil a

aplicação de SMarty na identificação e representação de variabilidades em modelos de caso de uso. É importante salientar também que a presença de um processo na abordagem SMarty, facilita a aplicação dos seus estereótipos, e também auxilia no reconhecimento de variabilidades, pontos de variação, variantes, e restrições entre variantes;

- no experimento de classes, primeira iteração, os valores apresentaram evidências de maior efetividade para o método PLUS (23,00). Porém, como analisado anteriormente (Seção 4.4.5), a quantidade de estereótipos de PLUS torna trivial o processo de representação de variabilidades, mas apresenta dificuldades para a geração de produtos consistentes.

Quanto à correlação, os resultados indicam uma correlação positiva forte (0,53) para o método PLUS e positiva fraca para SMarty (0,18), em média, ou seja, os níveis de conhecimento tiveram maior influência para o método PLUS e menor para a abordagem SMarty.

A segunda iteração para o experimento de classes, se comparado à primeira, apresentados na Tabela 4.14, permitem observar que SMarty teve aumento da efetividade, de 13,60 para 16,20, após a inserção da nova diretriz que trata alguns dos problemas da LPS *e-Commerce*. Porém, mesmo com a pequena melhora, PLUS permanece como mais efetivo (26,4), por consequência das situações previamente exemplificadas e mencionadas na Seção 4.4.5.

Quanto à correlação, podemos observar que PLUS sofreu maior influência do nível de conhecimento, como na primeira iteração, tendo apresentado uma correlação positiva fraca (0,4). SMarty apresentou um nível de correlação menor: negativa fraca (-0,48);

- o experimento que verificou a efetividade da extensão de SMarty, para modelos de sequência, indicou maior efetividade para a abordagem SMarty 5.0 (24,86).

A correlação entre ambas demonstrou maior influência do conhecimento, no caso, positiva forte (0,61) para SMarty, e negativa fraca para a abordagem de Ziadi et al.; e

- finalmente, para o total de efetividade obtido em todos os estudos, com base na média dos valores calculados, SMarty demonstrou, em média, maior efetividade (44,09), em relação ao método PLUS e abordagem de Ziadi et al. (35,02).

A correlação entre o nível de conhecimento em LPS e a efetividade foi positiva fraca para PLUS e negativa fraca para SMarty (0,26 e -0,04 respectivamente), o que possibilita inferir que os resultados de efetividade não foram influenciados fortemente, em sua obtenção, por meio da aplicação das abordagens pelos participantes.

O gráfico em barras, apresentado na Figura 4.15 demonstra os totais de efetividade.

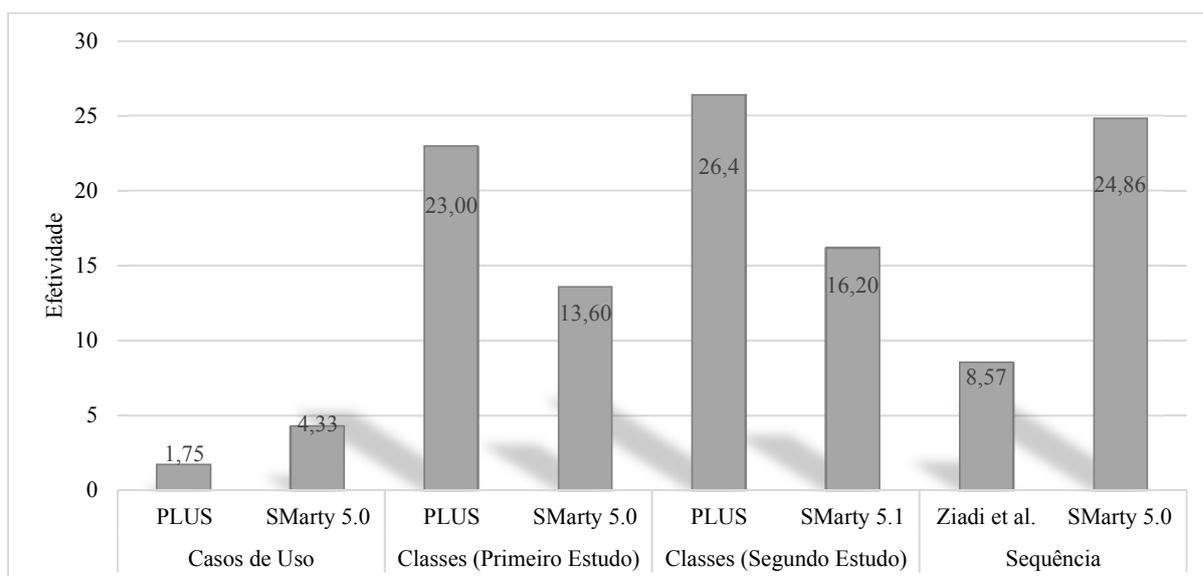


Figura 4.15: Resultados da Efetividade por Estudo Experimental.

É nítido que a efetividade das abordagens se torna fator relevante para que as indústrias, ou pesquisadores que necessitem de abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML, possam vir a adotá-las.

Os estudos experimentais executados apresentados, servem de base para fornecer evidências iniciais quanto à capacidade de representação de variabilidades, bem como a identificação em modelos de casos de uso, classes e sequência da UML, por meio da abordagem SMarty 5.1.

Os elementos que formam a abordagem SMarty, como o *SMartyProfile* e o *SMartyProcess* vêm de encontro com a necessidade de agilização no processo de aprendizado e aplicação de uma nova tecnologia, no meio industrial e acadêmico, com foco em reuso. Logo, os resultados indiretamente refletem também, a capacidade da abordagem SMarty de ser rapidamente aprendida e aplicada, como demonstrado pelos modelos resolvidos pelos participantes e suas conseqüentes efetividades.

A identificação e representação do maior número de variabilidades e seus elementos em modelos UML garantem também uma melhor geração de produtos específicos, se tomados

como base os modelos UML apresentados. Excetua-se aí a situação apresentada para os modelos de classes representados com PLUS.

A possibilidade de derivação consistente dos produtos específicos, no que tange suas classes, por meio dos modelos de classes da UML com o método PLUS é uma tarefa árdua, visto que pode levar a entendimento errôneo dos modelos e das restrições de variantes apresentadas. Destarte, documentos complementares, para o correto desenvolvimento de produtos específicos com PLUS são necessários, o que não parece ocorrer, se utilizados os modelos de variabilidade de acordo com SMarty.

4.7 Avaliação de Validade do Conjunto de Estudos Experimentais

As ameaças consideradas e os procedimentos tomados para mitigar e sanar alguns dos problemas encontrados durante as execuções experimentais são apresentados neste seção.

4.7.1 Ameaças à Validade de Conclusão

A validade de conclusão mede a relação entre os tratamentos e os resultados, determinando assim a capacidade do estudo em generalizar os resultados. avaliaçãoA ameaça mais significativa para o conjunto experimental realizado deve-se ao tamanho das amostras utilizadas:

- 24 participantes para o estudo de casos de uso;
- 20 participantes para o primeiro estudo de classes;
- 10 participantes para o segundo estudo de classes; e
- 14 participantes para o estudo de sequência.

Assim, para garantir a generalização dos resultados, e consequente aumento do poderio estatístico desses, os trabalhos devem ser conduzidos a replicações em estudos futuros.

A ocorrência desta ameaça se dá pela dificuldade extrema de obter voluntários para participar dos estudos, visto que estes não receberam quaisquer benefícios, além do conhecimento. Além deste motivo, há a necessidade de obtenção de participantes com nível de conhecimento mínimo em UML, LPS e variabilidade e estarem inseridos na área de engenharia de software.

A participação de voluntários com pouco conhecimento nas áreas necessárias para a realização de estudos que usam um conjunto de técnicas ou abordagens, de métodos e procedimentos, são motivos de vieses que levam a resultados inconsistentes, em que não expressam com fidedignidade o que a proposta avaliada se propõe. Logo, a obtenção de pessoas com o mínimo de conhecimento necessário torna-se fator limitador, que consequentemente reflete em uma amostragem menor, e culmina na necessidade de replicações para coletar evidências que corroborem com os resultados das execuções originais (Kitchenham et al., 2010).

4.7.2 Ameaças à Validade de Constructo

A validade de *constructo* dos estudos experimentais definidos referem-se à relação entre os instrumentos e os participantes, bem como a teoria que está sendo provada.

Para o conjunto de experimentos, a variável dependente efetividade foi definida e testada com base no projeto piloto e estudos já mencionados. Sendo coletada nas execuções experimentais, por meio dos formulários experimentais que, apresentado um dos modelos da UML, de casos de uso, classes ou sequência, de acordo com o estudo, permitiram a identificação e representação das variabilidades descritas nas LPSs com o apoio das respectivas abordagens. No entanto, por tal indicador não ter possibilitado a identificação da efetividade da abordagem SMarty para modelos de classes, a sua escolha e formação pode não ter sido a melhor, para avaliá-la.

Em relação aos participantes, estes possuem nível de conhecimento necessário em UML para a realização das tarefas, e também receberam o treinamento para mitigar a diferença de conhecimento em LPS e variabilidades, garantindo que os modelos gerados fossem considerados significantes.

E da mesma maneira que a avaliação da variável dependente ocorreu, as variáveis independentes; abordagem e LPS, também foram validadas no projeto piloto.

A escala aplicada ao nível de conhecimento dos participantes é uma ameaça a ser considerada, visto que essa pode não expressar totalmente a real influência do nível de conhecimento dos participantes na utilização das abordagens validadas.

4.7.3 Ameaças à Validade Interna

Nos estudos apresentados, as seguintes dificuldades foram encontradas:

- **Diferenças entre os participantes:** como as amostras foram pequenas, variações entre as habilidades dos participantes foram reduzidas, por meio do balanceamento

dos grupos, utilizando o questionário de caracterização e o nível de conhecimento dos mesmos em UML. Logo, as tarefas executadas para cada grupo, divididos pela abordagem recebida, foram realizadas de maneira similar, excetuando-se a ordem dos formulários experimentais, para os estudos de classe (segunda execução) e sequência. Ainda assim, é um dos fatores em potencial, que ameaça os resultados, visto que os participantes podem ter omitido o real conhecimento que possuem em UML, uma vez que o nível de conhecimento em tal notação foi a base para a divisão dos blocos de participantes;

- **Acurácia das respostas dos participantes:** uma vez treinados nos conceitos básicos de LPS e variabilidades, somando-se ao nível de conhecimento que os participantes possuíam em UML e em engenharia de software, considera-se que os modelos identificados são válidos;
- **Efeitos de Fadiga:** os experimentos tiveram duração média, como segue:
 - 100 minutos, em média, para o estudo experimental de casos de uso;
 - 80 minutos, em média, para o estudo experimental de classes (primeira e segunda execução); e
 - 20 minutos, em média, para o estudo experimental de sequência.

Soma-se a estes tempos, cerca de 20 minutos da sessão de treinamento. Assim, a fadiga não foi considerada relevante, além de que, os documentos entregues aos participantes continham exemplos e contribuíram para reduzir tal efeito.

Em relação a diminuição do tempo de execução para o estudo de sequência, este se deve a aplicação de exercícios com as abordagens utilizadas que, como consequência, reduziu a resolução do formulário experimental na execução final; e

- **Outros fatores importantes:** a influência entre os participantes foi mitigada pela supervisão de um observador humano, bem como a disposição de forma intercalada, ou com espaços consideráveis entre os lugares onde os esses se estabeleceram para a execução experimental. A realização de diversas sessões experimentais, em diferentes datas e horários, e de seus respectivos treinamentos foram aplicadas de forma similar, minimizando possíveis diferenças entre as sessões.

Para a identificação dos elementos incorretos e corretos, identificados para utilização na equação de efetividade, estes foram corrigidos mediante oráculos desenvolvidos previamente para cada uma das linhas de produto utilizadas de acordo com as respectivas abordagens aplicadas.

4.7.4 Ameaças à Validade Externa

A validade externa do estudo visa medir a sua capacidade de refletir o mesmo comportamento, em outros grupos de participantes e profissionais da indústria, além dos que participaram do estudo. Duas ameaças à validade externa foram identificadas:

- **Instrumentação:** a utilização de LPSs pedagógicas ou criadas para exemplificar as abordagens utilizadas colocam em risco a validade externa. Assim, estudos experimentais e possíveis replicações devem ser conduzidas utilizando LPSs reais, desenvolvidas e utilizadas na indústria; e
- **Participantes:** a utilização de estudantes em graus diferentes de formação compôs o conjunto de participantes, entretanto, mesmo alguns destes indicando no questionário de caracterização experiência na indústria, novos experimentos devem ser conduzidos exclusivamente com profissionais de nível avançado na indústria, na área de engenharia de software. Essa decisão permitirá generalizar os resultados dos estudos.

4.8 Apresentação e Empacotamento dos Estudos Experimentais

A instrumentação, bem como planilhas de análise de dados, e o diário experimental, reportando dificuldades e visando transferir o conhecimento tácito dos experimentadores (Mendonca et al., 2008; Shull et al., 2004), estão disponíveis em:

<http://www.din.uem.br/~smarty/slr2013.html>.

Os estudos experimentais aqui apresentados contribuem com a difusão de procedimentos experimentais (Brooks et al., 1996) e demais conhecimentos utilizados (Shull et al., 2004), além de permitir sua utilização para a análise de efetividade de outras abordagens de gerenciamento de variabilidade.

4.9 Consideração Finais

Variabilidades são elementos cruciais para LPSs, logo abordagens para gerenciamento destas são fundamentais para garantir que produtos derivados consistentes de uma LPS sejam construídos seguindo rigorosamente as definições necessárias.

O conjunto de avaliações experimentais conduzidas apresentou evidências da efetividade da abordagem SMarty, para os modelos de casos de uso e sequência. O método

PLUS demonstrou ser mais efetivo para modelos de classe da UML, porém a análise dos modelos desenvolvidos ao ser aplicado, apresenta questões que podem levar à criação de produtos inconsistentes com base na modelagem realizada.

Já os resultados consolidados apresentaram, assim, indícios da efetividade geral de SMarty. Logo, com tal resultado, infere-se que o *SMartyProfile* e o *SMartyProcess* permitem a adoção e aprendizagem de SMarty mais rapidamente, por apresentar um processo e diretrizes que auxilia sua aplicação, além de permitir a identificação de novas variabilidades por meio de análise de modelos UML e, com seu perfil, permite a aplicação semanticamente controlada pelos mecanismos de extensão propostos pela notação UML, garantindo também suporte de ferramentas de modelagem.

Finalmente, novos experimentos devem ser conduzidos, visando ampliar a amostra utilizada, para obter evidências que corroborem com os resultados obtidos, bem como a utilização de LPSs advindas da indústria, para garantir maior grau de representatividade, e também, participantes pertencentes à indústria de software, para aumentar assim, as evidências que possibilitam a possível adoção de SMarty 5.1 pela indústria.

Conclusão

O paradigma de reutilização de software é foco, não somente nas pesquisas acadêmicas, mas também pelas grandes organizações, que buscam meios efetivos de reutilizar os mais diversos artefatos de software, além de código fonte.

A abordagem de LPS mostra-se efetiva quanto aos benefícios promovidos no que tange reutilização de fato de artefatos, permitindo também englobar outras contribuições no processo de desenvolvimento, como redução de tempo deste, a diminuição de riscos, de custos, e também do *time to market*. Esses benefícios só são obtidos por meio de um gerenciamento das variabilidades, presente no núcleo de artefatos, realizado de forma concisa e sistematizada.

A fundamental importância das variabilidades torna a atividade de gerenciamento umas das mais importantes, dentre as realizadas em uma LPS. Logo, o foco de pesquisas para a concepção de abordagens que permitam o gerenciamento de maneira eficiente, tanto no processo de identificação de variabilidades, quanto na representação destas, para uma posterior instanciação de produtos por arquitetos de LPS e demais usuários que dela usufruem; é foco de diversas propostas.

Entre as propostas que colaboram com a manutenção das variabilidades, se destacam as que fazem uso da notação UML. Essa notação, amplamente conhecida, permite a adoção de abordagens que, utilizando seus mecanismos de extensão como os perfis, garantem menor dispêndio em relação ao processo de adoção e treinamento de uma nova tecnologia comparado a abordagens *ad hoc*.

SMarty mostra-se ampla, tanto pela presença de seu perfil UML 2.0, o *SMartyProfile*, quanto por seu processo sistematizado, o *SMartyProcess* que, por meio das diretrizes de-

finidas, auxiliam a aplicação do seu perfil, tanto para reconhecer variabilidades existentes em modelos UML ainda não avaliados, quanto para representar as já existentes.

Como SMarty vem sendo amplamente utilizado em diversos estudos, e para identificar a sua real efetividade no que tange identificação e representação de variabilidades, este trabalho de mestrado apresentou, primeiramente, os conceitos necessários para o seu entendimento. Em seguida, um mapeamento sistemático foi realizado para propor à nova extensão de SMarty 4.0 para modelos de sequência.

A necessidade de evolução de SMarty 4.0 para SMarty 5.0 visa possibilitar a identificação e representação de variabilidades em sistemas cujo comportamento dinâmico, por meio de modelos de sequência da UML.

Com o apoio a modelos de sequência, seguiu-se para o conjunto de estudos experimentais para os três dos modelos mais representativos de SMarty: casos de uso, classes e sequência. As avaliações experimentais foram conduzidas para identificar a efetividade da abordagem, se avaliados com o método PLUS, para os modelos de caso de uso e classes, e com a abordagem de Ziadi et al., em relação aos modelos de sequência da UML.

Os estudos avaliativos para modelos de casos de uso e sequência apresentaram evidências da efetividade de SMarty, já o estudo conduzido para modelos de classes apresentou maior efetividade para o método PLUS. Esse resultado levou a evolução de SMarty 5.0 para SMarty 5.1, onde uma nova diretriz foi inserida. Finalmente, um novo estudo empírico foi realizado, e SMarty apresentou um aumento em sua efetividade, porém o método PLUS permaneceu como mais efetivo para modelo de classes, levando a uma análise mais detalhada dos motivos de tais resultados.

A necessidade de realizar a avaliação experimental de SMarty, se deve: (i) pela lacuna existente no que diz respeito a avaliação experimental de abordagens propostas na literatura e identificada por meio do levantamento bibliográfico realizado, e comprovados ao término das execuções experimentais, por meio de mapeamento sistemático; (ii) a necessidade de avaliação dos modelos apoiados por SMarty e seus recursos (perfil e processo), que por meio dos experimentos puderam ser analisados e evoluídos; e (iii) a necessidade de consolidá-la para possibilitar sua adoção na indústria e em maior grau na academia.

Como forma de garantir a padronização e a sistematização dos estudos experimentais conduzidos, bem como primar pela qualidade dos resultados, testes estatísticos e suas análises, indicações de procedimentos experimentais foram seguidos rigorosamente, e reavaliados por meio dos resultados de mapeamentos sistemático que visava a identificação de validações experimentais para abordagens de gerenciamento de variabilidade baseadas em UML.

Cuidados quanto aos participantes também foram tomados, principalmente no que diz respeito a uma possível influência desses, em relação ao conhecimento prévio das abordagens, o que levou a buscar participantes de diferentes instituições e localidades. Ainda, foram tomadas medidas para que as LPSs utilizadas não favorecessem as abordagens avaliadas.

LPSs com origem nas abordagens selecionadas e comparadas à SMarty foram utilizadas, como a *e-Commerce* e a *Banking*, definidas e apresentadas no método PLUS e na abordagem de Ziadi et al., respectivamente, e a LPS *Arcade Game Maker*, proposta pelo SEI.

5.1 Contribuições

Como resultado deste trabalho de mestrado e principal contribuição tem-se: a extensão do SMarty 4.0 para modelos de sequência, dando origem à SMarty 5.0 e a avaliação experimental de SMarty para modelos de casos de uso, classe e sequência da UML, dando origem a SMarty 5.1.

Os itens a seguir expressam as demais contribuições desta dissertação:

Resultados e Contribuições quanto à Extensão da Abordagem SMarty 4.0:

- a extensão da abordagem SMarty 4.0 para modelos de sequência da UML. Conduzida por meio de análise dos modelos já apoiados pela abordagem, e de um mapeamento sistemático (Apêndice A). Assim, um estudo dos elementos e representações gráficas dos diagramas de interação da UML resultaram em sua versão 5.0;
- a utilização de elementos intrínsecos da UML, primando pela facilidade de representação de variabilidades, garantindo a lógica das restrições destas, por meio de definições existentes da notação UML. Isso permite ainda usufruir de facilidades inerentes à UML, como o uso de ferramentas UML de modelagem e também do intercâmbio de modelos por meio de arquivos *XML Metadata Interchange*(XMI); e
- representação, identificação e delimitação de variabilidades em elementos dinâmicos, possibilitando maior nível de representatividade e assim, a inserção de artefatos a nível de código, no núcleo de artefatos. Isso culmina em um melhor gerenciamento dos produtos específicos derivados de uma LPS para, por exemplo, processos de negócio.

Resultados e Contribuições quanto à Avaliação Experimental da Efetividade:

- avaliação experimental para modelos de casos de uso de SMarty. Por meio da comparação de SMarty com o método PLUS, foi identificada a efetividade da abordagem SMarty. Esse resultado forneceu evidências da avaliação do *SMartyProfile* e as diretrizes para modelo de casos de uso, presentes no *SMartyProcess*, para a identificação e representação de variabilidades de maneira efetiva;
- avaliação experimental para modelos de classes de SMarty. A condução do experimento, visando obter a identificação da abordagem mais efetiva, apresentou evidências de maior efetividade para o método PLUS. Assim, a análise dos resultados relacionados à SMarty foi considerada, levando à inserção de uma nova diretriz ao *SMartyProcess* à revisão das demais. Logo, um novo experimento foi conduzido, levando à uma melhoria da efetividade de SMarty, porém comprovando mais uma vez, a efetividade do método PLUS.

Os resultados do novo experimento para a versão 5.1 de SMarty conduziram à análise de outros detalhes, como a presença limitada de estereótipos a serem aplicados no método PLUS, que facilitou demasiadamente o processo de sua aplicação, conduzindo a obtenção dos resultados analisados. A análise considera a maior efetividade pelo método, entretanto apresenta argumentos quanto à sua significância no processo de entendimento do modelo de classes gerado por este, dificultando o processo de instanciação de produtos e de suas variabilidades em nível de classes, uma vez que o estereótipo que indica variabilidades, variantes e ponto de variação, e representa possíveis restrições inclusivas, mutuamente exclusivas e opcionais refere-se exclusivamente ao definido como <<optional>>.

A sobrecarga de semântica no estereótipo <<optional>> no método PLUS, conduz à necessidade inerente de utilizar-se de outros documentos que permitam um entendimento complementar do real significado do seu uso em um modelo de classes. Isso difere significativamente da abordagem SMarty, que aplicado a modelos de classes, ou qualquer um dos modelos que suporta, permite entendimento claro e objetivo das variabilidades, seus elementos e também de suas restrições. Destarte, a efetividade do método PLUS é evidenciado, mas é perceptível que tal método apresenta uma limitação que conduz à uma dificuldade expressiva no que tange ao seu uso para a derivação de produtos consistentes;

- avaliação experimental para modelos de sequência. A avaliação do modelo de sequência da UML por SMarty foi devidamente evidenciada pela comparação de SMarty com a abordagem de Ziadi et al. O resultado mostrou-se satisfatório, e assim, permite que tal modelo possa ser usado para o que se destina, na atividade de gerenciamento de variabilidades, em nível de comportamento dinâmico, tornando-se portanto, uma opção mais completa e objetiva para sua adoção;
- o devido levantamento de indícios da efetividade para a representação de variabilidades em casos de uso e sequência, e também pelo resultado obtido por meio do experimento de classe conduziu a devida evidenciação formal da abordagem SMarty e do que esta propõe. Com o *SMartyProfile*, aplicado com auxílio do *SMartyProcess*, o conjunto experimental validou não somente o uso da semântica adicional dos modelos UML propostos no perfil UML 2.0, mas também a facilidade de aplicação desta por meio do auxílio fornecido por suas diretrizes.

Estudos demonstram, como previamente apresentado, um percentual relevante de organizações que, adeptas ao uso de tecnologias que facilitem o processo de adesão e com menor custo, buscam utilizar-se de ferramentas já conhecidas, como é o caso da notação UML. Dessa maneira, a facilidade decorrente do processo sistemático presente em SMarty, somado aos benefícios agregados pelo uso da UML faz com que SMarty seja uma abordagem em potencial para a ampliação de sua adoção em estudos na academia e na indústria também como contingente expressivo para a realização e condução efetiva da atividade de gerenciamento de variabilidades;

- o processo experimental conduzido, desde seu planejamento à análise dos resultados permite a promoção da avaliação de outras abordagens de gerenciamento de variabilidade presentes na literatura, sejam essas baseadas em UML ou não. Com poucos esforços é possível alterar os fatores e tratamentos utilizados e adaptá-los ao tipo de abordagem que se deseja validar. Portanto, a condução do conjunto de experimentos apresentados molda uma base importante para a condução de novas validações experimentais, impulsionando o preenchimento da lacuna constatada pelo mapeamento sistemático (Apêndice B) pela carência do uso da Engenharia de Software Experimental em tecnologias emergentes.

Resultados e Contribuições com relação aos Mapeamentos Sistemáticos - Suporte a Modelos de Sequência e Avaliação Experimental de Abordagens de Gerenciamento de Variabilidades:

- a condução de dois mapeamentos sistemáticos com o objetivo de identificar abordagens que suportam o modelo de sequência da UML permitiu a identificação de contribuições para a proposta de extensão de SMarty, bem como apresentou a carência por abordagens que dela utilizam, justificando e impulsionando a necessidade de criação do suporte para tal modelo, resultando na abordagem SMarty 5.0.

A condução de dois mapeamentos permitiu a comparação dos estudos recuperados no período de tempo utilizado para a proposta de extensão e também para condução dos estudos experimentais; e

- a condução de levantamento bibliográfico e posterior formalização em mapeamento sistemático para avaliações experimentais de abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML permitiu a identificação de estudos que, utilizando as sugestões de pesquisadores com relevância na área de Engenharia de Software Experimental, deu embasamento inicial para o processo de condução do conjunto experimental aqui apresentado, permitindo a disponibilização deste para a comunidade acadêmica, que assim poderá utilizar-se das experiências obtidas, também incorporadas ao conhecimento tácito expresso por meio dos relatórios experimentais que incorporam os pacotes experimentais.

A condução do mapeamento sistemático quanto a avaliação experimentais de abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML permitiu a comprovação da incipiência de tais avaliações, inicialmente obtidas por meio de levantamento bibliográfico.

Publicações dos Resultados e Contribuições:

- MARCOLINO, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; GIMENES, I. M. S. Towards the Effectiveness of the SMarty Approach for Variability Management at Sequence Diagram Level. In: Int. Conf. on Enterprise Information Systems, 2014. *No prelo.*
- MARCOLINO, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; GIMENES, I. M. S.; MALDONADO, J. C. Towards the Effectiveness of a Variability Management Approach at Use Case Level. In: Int. Conf. on Software Engineering and Knowledge Engineering, Boston, 2013, v. 1. p. 214-219.
- MARCOLINO, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; GIMENES, I. M. S.; CONTE, T. U. Towards Validating Complexity-based Metrics for Software Product Line Architectures. In: Simpósio Brasileiro de Componentes, Arquitetura e Reutilização

de Software, 2013, Brasília-DF. Anais do Simpósio Brasileiro de Componentes, Arquitetura e Reutilização de Software, 2013. v. 1. p. 85-94.

- MARCOLINO, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A. Validação Experimental da Abordagem SMarty para Gerenciamento de Variabilidade em Linha de Produto de Software. In: Workshop de Teses e Dissertações em Engenharia de Software, 2013, Brasília-DF. Anais do Workshop de Teses e Dissertações em Engenharia de Software, 2013. v. 1. p. 118-122.
- MARCOLINO, A. S.; CORDEIRO, A. F. R.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A. Modelagem de Variabilidade de Linha de Produto de Software com UML. In: Encontro Int. de Produção Científica, 2013, Maringá-PR. Anais do VIII Encontro Int. de Produção Científica, 2013.
- CORDEIRO, A. F. R.; MARCOLINO, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A. SistEM-Env: Planejamento Automatizado de Avaliação de Linhas de Produto de Software. In: Encontro Int. de Produção Científica, 2013, Maringá-PR. Anais do VIII Encontro Int. de Produção Científica, 2013.
- MARCOLINO, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; BARBOSA, E. F.; GIMENES, I. M. S. Empirical Validation of the SMarty Approach: a New Study for the Class Models Effectiveness (Em processo de submissão).
- MARCOLINO, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A. Towards the Effectiveness of a Variability Management Approach at Class Level (Em processo de submissão).
- MARCOLINO, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; CONTE, T. U.; GIMENES, I. M. S. Towards the Empirical Effectiveness of SMarty: a UML-based Variability Management Approach (Em processo de submissão).
- MARCOLINO, A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.. Variability Management in Software Product Line UML Sequence Models: Proposal and Empirical Study (Em processo de submissão).

5.2 Limitações

Este estudo apresentou algumas limitações como as citadas na Seção 4.7 e ainda a dificuldade de obter participantes bem qualificados nas conduções experimentais, bem como a escassez de horários para que os voluntários pudessem participar e a baixa

disponibilidade de LPSs advindas da indústria, dificultando a obtenção de uma análise mais próxima da realidade empresarial, e assim, mais representativa.

Os itens a seguir expressam tais limitações de modo mais detalhado:

- o escasso retorno de abordagens de gerenciamento de variabilidade que utilizam modelos de sequência da UML nos mapeamentos sistemáticos. Isso limitou a condução de uma comparação entre propostas existentes, e assim o desenvolvimento de uma extensão para sequência que pudesse unificar conceitos já utilizados, e eliminar possíveis falhas nas propostas existentes. Porém, essa limitação inicialmente levantada foi superada, com os resultados obtidos na avaliação experimental conduzida para a efetividade na representação de variabilidades para tal modelo de interação da UML;
- as amostras de tamanhos restritos foram consequências da dificuldade em conseguir voluntários bem qualificados para participarem das diversas conduções experimentais, e que pudessem participar nos horários estipulados para as sessões de execução. Essa limitação pode ser mitigada por meio de replicações experimentais, buscando ampliação da amostra e evidências que corroboram com os resultados aqui apresentados e quanto à disponibilidade dos horários, como tentativa de mitigar este problema, mais de uma sessão foi conduzida para a maior parte dos experimentos;
- a dificuldade para encontrar LPSs advindas da indústria, ou de casos reais de estudo conduziu à utilização da LPS pedagógica proposta pelo SEI e a utilização de LPSs apresentadas como estudos de casos ou exemplos de aplicação pelo método PLUS (*e-Commerce*) e na abordagem de Ziadi et al. (*Banking*). A utilização de tais LPSs limitou a representatividade na utilização de propostas originárias de LPSs reais;
- a condução das sessões de treinamento, com tempo restrito devido à disponibilidade dos participantes. Essa limitação se deu pelo tempo reduzido que algumas das sessões foram conduzidas, seja pela disponibilidade dos voluntários, ou por consequência dos horários restritos das aulas cedidas por professores para que seus alunos pudessem participar. Como o tempo estimado para a realização do último dos experimentos, que se refere ao modelo de sequência, foi maior, a aplicação de exercícios foi possibilitada, o que resultou em formulários experimentais mais concisos. A condução de exercícios é uma prática que deve ser aderida nas possíveis replicações;
- inexistência de validações experimentais similares para uma possível comparação de resultados e aprimoramento do conjunto experimental realizado. Essa limitação é

fundamentada na necessidade de realizar comparações entre evidências coletadas em outros estudos, que poderiam, por exemplo, corroborar com a avaliação de outros elementos avaliativos das abordagens de gerenciamento de variabilidade, além da sua efetividade na representação e identificação de variabilidades. Como é o caso mencionado para justificar o nível elevado de efetividade obtida pelo método PLUS, mesmo após a evolução de SMarty; e

- somadas a essas limitações estão as apresentadas no Capítulo 4, Seção 4.7, que se referem à avaliação de validade do conjunto de estudos experimentais, bem como as possíveis alternativas tomadas para a condução experimental de forma a obter evidências que permitissem tecer conclusões gerais sobre os dados coletados.

5.3 Trabalhos Futuros

Como indicação de sugestões que podem ser tomadas para a condução de trabalhos futuros tem-se:

- a realização de estudos experimentais para avaliar a efetividade do entendimento dos modelos gerados e a consistência dos seus produtos específicos com base na utilização de SMarty, se comparado ao método PLUS, a abordagem de Ziadi et al., e outras abordagens a serem identificadas;
- como já mencionado, aplicar durante as sessões de treinamento, como ocorreu para a avaliação empírica de sequência, sejam nas replicações ou em conduções experimentais similares; exercícios das abordagens utilizadas no experimento, garantindo melhor aplicação das abordagens.

Essa indicação, para os estudos conduzidos, não foi considerada uma ameaça à qualidade dos dados coletados, uma vez que a inobservância de sessões de exercícios levou a uma análise da capacidade de absorção da abordagem e sua aplicação, em um curto espaço de tempo;

- identificar e utilizar LPSs mais representativas, ou seja, originárias da indústria, para serem utilizadas nas possíveis replicações, permitindo assim uma melhor aproximação da realidade vivida nas indústrias, levando a evidências do uso das abordagens em situações em que complexidade das linhas de produto sejam maiores;

- realização de replicações experimentais abordando, além de LPSs da indústria, profissionais da área, acarretando uma aproximação ainda maior dos resultados à realidade das equipes de desenvolvimento e de evolução de LPS;
- desenvolver um ambiente de avaliação e experimentação de LPS baseadas em UML com o objetivo de automatizar parcial ou totalmente as etapas experimentais e do processo de modelagem com SMarty; e
- avaliar a qualidade dos estudos experimentais realizados nesta dissertação por meio da avaliação de fatores de qualidade baseados em *checklist*, como os propostos por Kitchenham et al. (2013).

REFERÊNCIAS

- BARBETTA, P.; REIS, M.; BORNIA, A. *Estatística: para Cursos de Engenharia e Informática*. 3 ed. Atlas, 2004.
- BASILI, V.; SELBY, R. Comparing the Effectiveness of Software Testing Strategies. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, v. SE-13, n. 12, p. 1278–1296, 1987.
- BASILI, V. R.; SELBY, R. W.; HUTCHENS, D. H. Experimentation in Software Engineering. *IEEE Trans. Software Eng.*, v. 12, n. 7, p. 733–743, 1986.
- BEZERRA, E. *Princípios de Análise e Projeto de Sistemas UML: Um Guia Prático para Modelagem de Sistemas*. CAMPUS, 2007.
- BOSCH, J. Preface. In Proc. 2nd Groningen Workshop on Software Variability Management: Software Product Families and Populations, p. 1-2, 2004.
- BRANDALISE, L. T. *Modelos de medição de percepção e comportamento – uma revisão*. Relatório Técnico, Unversidade de Santa Catarina, 2005.
- BRIAND, L. C.; BUNSE, C.; DALY, J. W. A Controlled Experiment for Evaluating Quality Guidelines on the Maintainability of Object-Oriented Designs. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, v. 27, n. 6, p. 513–530, 2001.
- BROOKS, A.; DALY, J.; MILLER, J.; ROPER, M.; WOOD, M. *Replication of Experimental Results in Software Engineering*. Relatório Técnico, IEEE Transactions on Software Engineering, 1996.
- CAPILLA, R.; BOSCH, J.; KANG, K. *Systems and Software Variability Management: Concepts, Tools and Experiences*. SpringerLink : Bücher. Springer, 2013.
- CATAL, C. Barriers to the Adoption of Software Product Line Engineering. *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, v. 34, n. 6, p. 1–4, 2009.

- ÇÖTELI, M. B. *Testing Effectiveness and Effort in Software Product Lines a Thesis*. Dissertação de Mestrado, Middle East Technical University, 2013.
- CHEN, L.; ALI BABAR, M.; ALI, N. Variability Management in Software Product Lines: a Systematic Review. In: *Proc. Int. Software Product Line Conference*, Pittsburgh, PA, USA: Carnegie Mellon University, 2009, p. 81–90.
- CLEMENTS, P.; NORTHROP, L. *Software Product Lines: Practices and Patterns*. SEI Series in Software Engineering. Addison-Wesley, 2002.
- CONTIERI JUNIOR, A. C.; CORREIA, G. G.; COLANZI, T. E.; GIMENES, I. M. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; FERRARI, S.; MASIERO, P. C.; GARCIA, A. F. Extending UML Components to Develop Software Product-line Architectures: Lessons Learned. In: *Proc. European Conf. on Software Architecture*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011, p. 130–138.
- DIFFERDING, C.; HOISL, B.; LOTT, C. *Technology Package for the Goal Question Metric Paradigm*. Fachbereich Informatik: Interner Bericht. Fachbereich Informatik, Univ., 1996.
- DYBA, T.; DINGSOYR, T.; HANSEN, G. Applying Systematic Reviews to Diverse Study Types: An Experience Report. *First Int. Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement.*, p. 225–234, 2007.
- FIORI, D. R.; GIMENES, I. M. S.; MALDONADO, J. C.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A. Variability Management in Software Product Line Activity Diagrams. In: *Proc. Int. Conf. on Distributed Multimedia Systems*, 2012, p. 89–94.
- FONSECA, J.; ANDRADE MARTINS, G. *Curso de Estatística*. 6 ed. Atlas, 2013.
- FOSCHIANI, F. Y. S.; TIZZEI, L. P.; RUBIRA, C. M. F. A SPL Infrastructure for Supporting Scientific Experiments in Petroleum Reservoir Research Field. *Simpósio Brasileiro de Componentes, Arquitetura e Reutilização de Software, Brasília-DF.*, v. 1, p. 85–94, 2013.
- FRAGAL, V. H.; SILVA, R. F.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; GIMENES, I. M. S. Application Engineering for Embedded Systems: Transforming SysML Specification to Simulink within a Product-line based Approach. In: *Proc. of Int. Conf. on Enterprise Information Systems*, 2013, p. 94–101.

- GALSTER, M.; WEYNS, D.; TOFAN, D.; MICHALIK, B.; AVGERIOU, P. Variability in software systems - a systematic literature review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 99, n. PrePrints, p. 1, 2013.
- GENERO, M.; CRUZ-LEMUS, J. A.; CAIVANO, D.; ABRAHÃO, S.; INFRAN, E.; CARSÍ, J. A. Assessing the Influence of Stereotypes on the Comprehension of UML Sequence Diagrams: A Controlled Experiment. In: *Proc. Int. Conf. on Model Driven Engineering Languages and Systems*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, p. 280–294.
- GOMAA, H. *Designing Software Product Lines with UML: From Use Cases to Pattern-Based Software Architectures*. Redwood City, CA, USA: Addison Wesley, 2004.
- GOMAA, H.; SHIN, M. E. Multiple-View Meta-Modeling of Software Product Lines. In: *Proceedings of the Int. Conf. on Engineering of Complex Computer Systems*, IEEE Computer Society, 2002, p. 238–246.
- GUELFÍ, N.; PERROUIN, G. A Flexible Requirements Analysis Approach for Software Product Lines. In: SAWYER, P.; PAECH, B.; HEYMANS, P., eds. *REFSQ*, Springer, 2007, p. 78–92, 15 (*Lecture Notes in Computer Science*, v.4542).
- GURP, J. V.; BOSCH, J.; SVAHNBERG, M. On the Notion of Variability in Software Product Lines. In: *In Proc. Working IEEE/IFIP Conf. on Software Architecture*, IEEE Computer Society, 2001, p. 45–54.
- HALMANS, G.; POHL, K. Communicating the Variability of a Software-Product Family to Customers. *Software and Systems Modeling*, v. 2, n. 1, p. 15–36, 2003.
- HEYMANS, P.; TRIGAUX, J. C. *Software Product Line: State of the Art*. Relatório Técnico, PLENTY project Institut d'Informatique FUNDP, Namur., 2003.
- HOLE, G. Mann-Whitney Test Handout Version 1.0. Disponível em <http://www.sussex.ac.uk/Users/grahamh/RM1web/MannWhitneyHandout%202011.pdf> Acessado em 20 de Jun. 2012., 2011.
- JACOBSON, I.; GRISS, M.; JONSSON, P. *Software Reuse: Architecture, Process and Organization for Business Success*. 1997.
- JURISTO, N.; MORENO, A. *Basics of Software Engineering Experimentation*. Springer, 2001.

- KANG, K. C.; COHEN, S. G.; HESS, J. A.; NOVAK, W. E.; PETERSON, A. S. *Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study*. Relatório Técnico, Carnegie-Mellon University Software Engineering Institute, 1990.
- KITCHENHAM, B.; BUDGEN, D.; BRERETON, O. P. Using Mapping Studies as the Basis for Further Research – A Participant-observer Case Study. *Information and Software Technology*, v. 53, p. 638–651, 2011.
- KITCHENHAM, B.; PFLEEGER, S. L.; FENTON, N. Towards a Framework for Software Measurement Validation. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, v. 21, n. 12, p. 929–944, 1995.
- KITCHENHAM, B.; SJOBERG, D. I.; DYBA, T.; BRERETON, O. P.; BUDGEN, D.; HOST, M.; RUNESON, P. Trends in the Quality of Human-Centric Software Engineering Experiments—A Quasi-Experiment. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, v. 39, n. 7, p. 1002–1017, 2013.
- KITCHENHAM, B.; SJØBERG, D. I. K.; BRERETON, O. P.; BUDGEN, D.; DYBÅ, T.; HÖST, M.; PFAHL, D.; RUNESON, P. Can We Evaluate the Quality of Software Engineering Experiments? In: *Proc. ACM-IEEE Int. Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, ESEM '10*, New York, NY, USA: ACM, 2010, p. 2:1–2:8 (*ESEM '10*,).
- LAGUNA, M.; HERNANDEZ, C. A Software Product Line Approach for E-Commerce Systems. In: *Int. Conf. on e-Business Engineering*, 2010, p. 230 –235, 6.
- LAGUNA, M. A.; GONZÁLEZ-BAIXAULI, B.; MARQUÉS, J. M. Seamless Development of Software Product Lines. In: *Proceedings of the Int. Conf. on Generative programming and component engineering*, New York, NY, USA: ACM, 2007, p. 85–94, 10.
- LAGUNA, M. A.; MARQUES, J. M. UML Support for Designing Software Product Lines: The Package Merge Mechanism. *J. UCS*, v. 16, n. 17, p. 2313–2332, 20, 2010.
- LAMANCHA, B. P.; DÍAZ, O.; AZANZA, M.; POLO, M. Software Product Line Testing: a Feature Oriented Approach. In: *Int. Conf. on Industrial Technology*, 2012, p. 238 –246 8.
- LIKERT, R. A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, v. 22, n. 140, p. 1–55, 1932.

LINDEN, F. J. V. D.; SCHMID, K.; ROMMES, E. *Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering*. Secaucus, NJ, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 2007.

MAFRA, S. N.; TRAVASSOS, G. H. *Estudos Primários e Secundários Apoiando a Busca por Evidência em Engenharia de Software*. Relatório Técnico, Relatório Técnico RT-ES 687/06, PESCCOPPE/UFRJ, 2005.

MARCOLINO, A.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; GIMENES, I. M. S.; MALDONADO, J. C. Towards the Effectiveness of a Variability Management Approach at Use Case Level. In: *Proc. of the Int. Conf. on Software Engineering & Knowledge Engineering*, 2013, p. 214–219.

MARINHO, F.; ANDRADE, R.; WERNER, C. A Verification Mechanism of Feature Models for Mobile and Context-Aware Software Product Lines. In: *Brazilian Symposium on Software Components, Architectures and Reuse*, 2011, p. 1–10, 10.

MARINHO, F. G. A Proposal for Consistency Checking in Dynamic Software Product Line Models Using OCL. In: *Proceedings of the Int. Conf. on Software Engineering - Volume 2*, New York, NY, USA: ACM, 2010, p. 333–334.

MARÔCO, J. *Análise Estatística com o SPSS Statistics*. 5 ed. ReportNumber, Lda, 2011.

MARTINEZ-RUIZ, T.; GARCIA, F.; PIATTINI, M.; MÜNNCH, J. Modelling Software Process Variability: an Empirical Study. *Software, IET*, v. 5, n. 2, p. 172–187, 2011.

MENDONÇA, M.; MALDONADO, J.; OLIVEIRA, M.; CARVER, J.; FABBRI, S.; SHULL, F.; TRAVASSOS, G. H.; HOHN, E.; BASILI, V. A Framework for Software Engineering Experimental Replications. In: *IEEE Int. Conf. on Engineering of Complex Computer Systems, 2008.*, 2008, p. 203–212.

NGUYEN, Q. Non-functional Requirements Analysis Modeling for Software Product Lines. In: *ICSE Workshop on Modeling in Software Engineering*, 2009, p. 56–61.

NUNES, I.; KULESZA, U.; NUNES, C.; LUCENA, C. J. P. A Domain Engineering Process for Developing Multi-agent Systems Product Lines. In: *Proc. Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Richland, SC, 2009, p. 1339–1340.

OIZUMI, W. N.; CONTIERI JUNIOR, A. C.; CORREIA, G. G.; COLANZI, T. E.; FERRARI, S.; GIMENES, I. M. S.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; GARCIA, A. F.;

MASIERO, P. C. On the Proactive Design of Product-Line Architectures with Aspects: An Exploratory Study. In: *Proc. IEEE Annual Computer Software and Applications Conference*, Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2012, p. 273–278.

OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; GIMENES, I. M. S.; HUZITA, E. H. M.; MALDONADO, J. C. A Variability Management Process for Software Product Lines. In: *Proc. Conf. of the Centre for Advanced Studies on Collaborative research*, IBM Press, 2005, p. 225–241.

OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; GIMENES, I. M. S.; MALDONADO, J. C. Systematic Management of Variability in UML-based Software Product Lines. *J. Universal Computer Science*, v. 16, n. 17, p. 2374–2393, 2010a.

OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; GIMENES, I. M. S.; MALDONADO, J. C. Systematic Evaluation of Software Product Line Architectures. *Journal of Universal Computer Science*, v. 19, n. 1, p. 25–52, 2013.

OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; MALDONADO, J.; GIMENES, I. Empirical Validation of Complexity and Extensibility Metrics for Software Product Line Architectures. In: *Proc. in the Brazilian Symposium on Software Components, Architectures and Reuse (SBCARS)*, 2010b, p. 31–40.

OMG Software & Systems Process Engineering Meta-Model Specification (OMG SPEM), Version 2.0. Disponível em <http://www.omg.org/spec/SPEM/2.0/PDF/> Acessado em 12 de Jun. 2012., 2008.

OMG Systems Modeling Language (OMG SysML), Version 1.2. Disponível em <http://www.omg.org/spec/SysML/1.2/PDF/> Acessado em 12 de Jun. 2012., 2010.

OMG OMG Object Constraint Language (OCL), Version 2.3.1. Disponível em <http://www.omg.org/spec/OCL/2.3.1/PDF> Acessado em 20 de Mar. 2013., 2011a.

OMG Unified Modeling Language, Superstructure Version 2.4.1. Disponível em <http://www.omg.org/spec/UML/2.4.1/Superstructure> Acessado em 12 de Jun. 2012., 2011b.

OMG UML Testing Profile (UTP), Version 1.2. Disponível em <http://www.omg.org/spec/UTP/1.2/PDF/> Acessado em 20 de Mar. 2013., 2013.

PERRY, D. E.; PORTER, A. A.; VOTTA, L. G. Empirical Studies of Software Engineering: A Roadmap. In: *Proc. Conf. on The Future of Software Engineering*, New York, NY, USA: ACM, 2000, p. 345–355.

PETERSEN, K.; FELDT, R.; MUJTABA, S.; MATTSSON, M. Systematic Mapping Studies in Software Engineering. In: *Proceedings Int. Conf. on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, Swinton, UK, UK: British Computer Society, 2008, p. 68–77.

Disponível em <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2227115.2227123>

POHL, K.; BÖCKLE, G.; LINDEN, F. J. v. D. *Software Product Line Engineering: Foundations, Principles, and Techniques*. Secaucus, NJ, USA: Springer-Verlag, 2005.

PONTES, A. C. F.; JUNIOR, A. C. F. P.; DA SILVIA BRAGA, A. Ensino de Correlação de Postos no Ensino Médio. In: *Proc. Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística*, Universidade Federal do Acre, 2010.

RODRIGUES, E. M.; ZORZO, A. F.; OLIVEIRA JUNIOR, E. A.; DE SOUZA GIMENES, I. M.; MALDONADO, J. C.; DOMINGUES, A. R. P. PlugSPL: An Automated Environment for Supporting Plugin-based Software Product Lines. In: *SEKE*, Knowledge Systems Institute Graduate School, 2012, p. 647–650.

Disponível em <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/seke/seke2012.html#RodriguesZJGMD12>

ROYSTON, J. P. An Extension of Shapiro and Wilk's W Test for Normality to Large Samples. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, v. 31, n. 2, p. 115–124, 1982.

RYU, D.; LEE, D.; BAIK, J. Designing an Architecture of SNS Platform by Applying a Product Line Engineering Approach. In: *Proc. Int. Conf. on Computer and Information Science*, 2012, p. 559–564.

SEI Software Engineering Institute Arcade Game Maker Pedagogical Product Line. Disponível em <http://www.sei.cmu.edu/productlines/ppl> Acessado em 23 de Jul. 2012., 2010.

SEI Software Engineering Institute A Framework for Software Product Line Practice - Version 5.0. Disponível em http://www.sei.cmu.edu/productlines/frame_report/index.html Acessado em 20 de Jul. 2012., 2012a.

SEI Software Engineering Institute Hall of Fame. Disponível em http://www.sei.cmu.edu/productlines/plp_hof.html Acessado em 20 de Jul. 2012., 2012b.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.

- SHULL, F.; MENDONÇA, M. G.; BASILI, V.; CARVER, J.; MALDONADO, J. C.; FABBRI, S.; TRAVASSOS, G. H.; FERREIRA, M. C. Knowledge-Sharing Issues in Experimental Software Engineering. *Empirical Softw. Engg.*, v. 9, n. 1-2, p. 111–137, 2004.
- SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association Between Two Things. *The American journal of psychology*, v. 100, n. 3-4, p. 441–471, 1987.
- STREITFERDT, D.; RIEBISCH, M.; PHILIPPOW, I. Details of Formalized Relations in Feature Models Using OCL. In: *ECBS*, IEEE Computer Society, 2003, p. 297–304.
- TAWHID, R.; PETRIU, D. C. Towards Automatic Derivation of a Product Performance Model from a UML Software Product Line Model. In: *Proc. Int. Workshop on Software and Performance*, New York, NY, USA: ACM, 2008, p. 91–102.
- WARMER, J.; KLEPPE, A. *The Object Constraint Language: Precise Modeling with UML*. Addison-Wesley object technology series. Addison Wesley Longman, 1999.
- WEILKIENS, T.; OESTEREICH, B. *UML 2 Certification Guide: Fundamental & Intermediate Exams*. The MK/OMG Press. Elsevier Science, 2010.
- WEISS, D. M.; LAI, C. T. R. *Software Product-line Engineering: a Family-based Software Development Process*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1999.
- WIERINGA, R.; MAIDEN, N. A. M.; MEAD, N. R.; ROLLAND, C. Requirements Engineering Paper Classification and Evaluation Criteria: a Proposal and a Discussion. *Requir. Eng.*, v. 11, p. 102–107, 2006.
- WOHLIN, C.; RUNESON, P.; HÖST, M.; OHLSSON, M. C.; REGNELL, B.; WESSLÉN, A. *Experimentation in Software Engineering: an Introduction*. Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 2012.
- ZAR, J. H. Significance Testing of the Spearman Rank Correlation Coefficient. *Journal of the American Statistical Association*, v. 67, n. 339, p. pp. 578–580, 1972.
- ZIADI, T.; HELOUET, L.; MARC JEZEQUEL, J. Towards a UML Profile for Software Product Lines. In: *Product Family Engineering Conference*, Springer, 2003a, p. 129–139.
- ZIADI, T.; JEZEQUEL, J.-M. Software Product Line Engineering with the UML: Deriving Products. In: KAKOLA, T.; DUENAS, J., eds. *Software Product Lines*, Springer Berlin Heidelberg, p. 557–588, 2006.

ZIADI, T.; MARC JÉZÉQUEL, J.; FONDEMENT, F. Product Line Derivation with UML. *Software Variability Management Workshop - European Science Foundation - ESB*, p. 9, 2003b.

Apêndice A - Mapeamento Sistemático sobre Variabilidade em Modelos de Sequência

Os objetivos do mapeamento sistemático realizado no período de julho a setembro de 2012, resumem-se em identificar as abordagens mais conhecidas e/ou utilizadas para o gerenciamento de variabilidade em diagramas de interação da UML (Sequência e Colaboração), a utilização do conceito de *package merge* em modelos da UML e a validação de consistência por meio da *Object Constraint Language*. Tais propostas foram pesquisadas com o intuito de apresentarem o estado da arte para promoverem possíveis extensões para a abordagem SMarty.

A.1 Introdução

A utilização de linha de produto de software (LPS) tem se intensificado com o passar dos anos, propiciando uma forma efetiva de reutilização de artefatos de software, tanto na indústria quanto na academia (Capilla et al., 2013; Gomaa, 2004). A reutilização e instanciação de produtos distintos só é possível pela atividade de gerenciamento de variabilidades.

O gerenciamento de variabilidades está relacionado a todas as atividades de desenvolvimento de LPS e assim, repercute nas diversas abordagens de gerenciamento de variabilidades existentes. Oliveira Junior et al. (2010a) propõe a abordagem SMarty

4.0 (Stereotype-based Management of Variability), para promover o gerenciamento de variabilidades. SMarty é composta por um perfil UML, denominado *SMartyProfile*, e um processo designado de *SMartyProcess*.

A contribuição da abordagem SMarty 4.0 é permitir que as variabilidades de uma LPS possam ser gerenciadas de forma efetiva em modelos UML. A abordagem SMarty está, atualmente, limitada à representação de variabilidades em modelos UML de casos de uso, classes, componentes e atividades (Fiori et al., 2012; Oliveira Junior et al., 2010a).

Somente os modelos de classes de domínio e de casos de uso da UML, não são suficientes para apresentar uma visão completa do sistema para que a fase de implementação comece. Diversos aspectos ligados a solução a ser utilizada devem ser definidos (Bezerra, 2007). É na fase de projeto de uma interação, segundo Bezerra (2007) que tais definições são feitas, mais especificamente no detalhamento dos aspectos dinâmicos do sistema. É neste momento que os diagramas de interações são utilizados.

Já o mecanismo conhecido como *package merge*, define como os conteúdos de um pacote são estendidos pelo conteúdo de outro pacote (OMG, 2011b). Tal mecanismo é um relacionamento direto entre dois pacotes, o que indica que o conteúdo destes dois estão combinados. Segundo a OMG (2011b), é semelhante a generalização, no sentido de que o elemento de origem conceitualmente adiciona as características do elemento de destino para as suas próprias características, resultando em um elemento que combina as características de ambos.

Tanto os modelos de interação, que representam aspectos dinâmicos do sistema, quanto o mecanismo de *package merge* agregam conceitos e representações significativas, que transferidas para a atividade de gerenciamento de variabilidade propicia a identificação e representação de artefatos variáveis em nível de menor e maior abstração, respectivamente.

No entanto, a UML apresenta sutilezas e nuances de significado que seus diagramas podem não transmitir, tais como: singularidades¹, derivações, limites, restrições, etc. (Warmer e Kleppe, 1999). Para evitar tais deficiências, inicialmente foi proposto o uso da linguagem natural, entretanto, devido sua ambiguidade foi necessário identificar um novo meio para sanar tais dificuldades, ou que removesse a falha que explicações informais trazem.

Surge assim as linguagens formais, preenchendo as lacunas presentes na UML. A *Object Constraint Language* (OCL) é uma linguagem formal, fácil de ler e escrever (Warmer e Kleppe, 1999). OCL é uma linguagem puramente utilizada para especificação, desta forma, uma expressão OCL não traz qualquer mudança aos modelos aos quais está relacionada. Quando uma expressão OCL é avaliada, ela simplesmente retorna um

¹do termo em inglês *uniqueness*

valor, ou seja, o estado de um sistema nunca mudará porque uma expressão em OCL foi avaliada, mesmo esta sendo utilizada para especificar uma mudança de estado, como nas pós-condições (OMG, 2011a).

Assim, por ser uma linguagem de especificação, não é possível escrever lógica de programa ou controle de fluxos em OCL. Mas pode ser um adendo considerável quando agregado a modelos UML com identificação de variabilidades, uma vez que pode representar as restrições entre as variantes para a resolução de um ponto de variação a nível de código. O que gera indícios que seu uso pode auxiliar na validação dos produtos gerados com base em um modelo UML, por arquitetos e engenheiros de linhas de produto.

Logo, o potencial destes três conceitos presentes na UML podem vir de encontro com a abordagem SMarty, e com seu objetivo de melhorar a atividade de gerenciamento de variabilidades. Assim, este mapeamento sistemático tem como objetivo identificar o estado da arte desses três temas, no contexto de (i) propostas de abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML com suporte a modelos de interação, (ii) abordagens com suporte ao mecanismo de *package merge* e (iii) propostas de abordagens que façam uso de formalismo por meio da *Object Constraint Language* (OCL).

Este mapeamento sistemático está organizado da forma que segue: a Seção A.2 apresenta o escopo deste mapeamento, com a definição das questões de pesquisa, as *strings* de busca e os critérios de seleção e exclusão, na Seção A.3 são conduzidas as buscas nas bases selecionadas, a Seção A.4 apresenta os estudos primários recuperados com base nos critérios de inclusão e exclusão, a Seção A.5 apresenta a classificação dos estudos primários, na Seção A.6 são apresentadas as sínteses teóricas dos estudos selecionados, na A.7 são apresentadas as limitações deste mapeamento e finalmente, na Seção A.8 são apresentadas as conclusões.

A.2 Definição das Questões de Pesquisa

Mapeamentos sistemáticos permitem que os resultados que tenham sido publicados previamente possam ser categorizados e apresentados graficamente. Kitchenham et al. (2011) observam que estudos de mapeamento sistemático usa a mesma metodologia básica de revisões sistemáticas, mas possuem como objetivo identificar e classificar todos as pesquisas relacionadas a um tópico específico de engenharia de software, ao invés de responder questões sobre méritos relativos de tecnologias concorrentes. E concluem que mapeamentos sistemáticos fornece uma base para auxiliar nos esforços de pesquisas específicas.

Este mapeamento sistemático foi conduzido no domínio de linha de produto de software, e tem como objetivo identificar estudos primários relevantes sobre abordagens de gerenciamento de variabilidade baseadas em UML que utilizam um dos três conceitos previamente identificados (modelos de interação, *package merge* e OCL). O período de condução deste mapeamento foi de Julho/2012 a Setembro/2012. O protocolo seguido para a estruturação e condução deste estudo resume-se nos passos que seguem (Kitchenham et al., 2011; Petersen et al., 2008):

1. Definição das questões de pesquisa, escopo, estratégia de pesquisa e critérios de inclusão e exclusão.
2. Condução da busca por estudos primários.
3. Seleção dos estudos recuperados usando o protocolo estabelecido, bem como a relevância dos estudos e critérios de qualidade definidos (especificação do domínio, apresentação de limitações/problemas).
4. Extração dos dados e agregação por meio de tabelas e gráficos.

A.2.1 Questões de Pesquisa

O propósito deste trabalho é identificar e caracterizar o corpo de conhecimento relevante na literatura, que debate o uso de modelos de interação, do mecanismo de *package merge* e OCL, pelas questões de pesquisa:

- **QP1.** O quão utilizados estão os conceitos de modelos de interação, *package merge* e OCL nas abordagens de gerenciamento de variabilidade?
- **QP2.** Quais os tipos de abordagens de gerenciamento de variabilidade, e em quais contextos aplicam os conceitos da UML, de modelos de interação, *package merge* e OCL?

A.2.2 Refinamento das Questões de Pesquisa

Como as duas questões principais abordam a identificação do uso de três conceitos da UML, estas foram divididas em sub-questões que facilitarão a classificação dos estudos a serem recuperados. Desta maneira as duas questões foram derivada em quatro sub-questões:

- **Q1.** O quão utilizados estão os conceitos de modelos de interação, *package merge* e OCL nas abordagens de gerenciamento de variabilidade?

- **Q2.** Quais os tipos de abordagens de gerenciamento de variabilidade, e em quais contextos aplicam modelos de interação da UML?
- **Q3.** Quais os tipos de abordagens de gerenciamento de variabilidade, e em quais contextos aplicam o mecanismo de *package merge* da UML?
- **Q4.** Quais os tipos de abordagens de gerenciamento de variabilidade, e em quais contextos aplicam o mecanismo de verificação de consistência por meio da *Object Constraint Language* (OCL)?

Considerando as questões de pesquisa, foram identificadas um conjunto de palavras chave que propiciem a recuperação de estudos fidedignos ao que está sendo buscado.

O domínio da pesquisa se restringe a linha de produto de software, visto que a atividade de gerenciamento de variabilidade integra as suas atividades. Logo o termo chave “software product line” foi incluído, além dos termos referentes a cada um dos conceitos UML visados: modelos de interação, sub-divididos em “sequence diagram” (diagramas de sequência) e “collaboration diagram” (diagramas de colaboração), o mecanismo de mesclagem de pacotes “package merge” e OCL “object constraint language”. Os termos utilizados foram selecionados de tal forma que fossem simples para trazer os resultados esperados e rigorosos para cobrir os tópicos almejados nas questões de pesquisa. Para integrar os diversos termos foram utilizados operadores lógicos “e” (AND) e “ou” (OR). Assim, a string final de busca definida foi:

“software” AND (“product line” OR “product-line” OR “product-family” OR “product family” OR “family of products” OR “variability”) AND (“sequence diagram” OR “collaboration diagram” OR “interaction diagram” OR “OCL” OR “object constraint language” OR “consistency checking” OR “package merge” OR “package merging”)

Variações para os termos principais foram incluídos para abranger um número maior de estudos. Adicionado a estratégia da definição da *string* de busca, foram estabelecidas as fontes de busca a serem utilizadas.

As bases de dados foram selecionadas mediante indicações de professores da área de engenharia de software e também com as apresentadas por Dyba et al. (2007). Como a identificação da quantidade de trabalhos é relevante, dentre os objetivos da pesquisa, este mapeamento não foi restringido a conferências e *journals* com domínio em LPS. As bases selecionadas são apresentadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1: Bases de Busca.

Bases de Busca	
Bases	Endereço
ACM	http://dl.acm.org
IEEE	http://ieeexplore.ieee.org
Compendex	http://www.engineeringvillage.org
Scopus	http://www.scopus.com
Scirus (Elsevier)	http://www.scirus.com
ScienceDirect	http://www.sciencedirect.com
Google Scholar	http://www.google.com/advanced_search?hl=en

A.2.3 Critérios de Inclusão e Exclusão

Em conjunto com a definição das *strings* de busca e as bases de busca, foram definidos os critérios de inclusão e exclusão para os estudos a serem mapeados, levando em consideração as questões de busca, permitindo assim a determinação, por meio dos critérios de inclusão e exclusão, a qualidade mínima dos estudos a serem recuperados, garantindo que estejam em mais comum acordo com os objetivos já definidos.

Critérios de Inclusão: Os critérios para a inclusão de estudos primários foram:

- **Critério de Inclusão 1:** estudos que apresentam abordagens de gerenciar variabilidade em LPS considerando diagramas de interação da UML 2.0 (Diagrama de Sequência e/ou de Comunicação);
- **Critério de Inclusão 2:** estudos que apresentam abordagens para gerenciar variabilidade em LPS considerando mecanismo de *package merge*; e
- **Critério de Inclusão 3:** estudos que apresentam abordagens têm sido aplicadas para gerenciar variabilidade em LPS adicionando formalismo e verificando a consistência dos modelos, por meio da OCL.

Critérios de Exclusão: Objetivando os estudos que melhor correspondem ao mapeamento presente, foram adotados os seguintes critérios para exclusão:

- **Critério de Exclusão 1:** os estudos que não apresentam a utilização de modelos de interação da UML para apoiar o gerenciamento de variabilidades;
- **Critério de Exclusão 2:** os estudos que não apresentam suporte ao mecanismo de *package merge* da UML para apoiar o gerenciamento de variabilidades;
- **Critério de Exclusão 3:** os estudos que não apresentam suporte de OCL da UML para adicionar formalismo na atividade de gerenciamento de variabilidades;

Além dos critérios elencados acima, consideram-se também, como critérios de exclusão, independentemente das questões de pesquisa, os que seguem:

- Os estudos recuperados por meio eletrônico em formatos que não sejam PDF (Portable Document Format), DOC/DOCX (Processador de Texto Microsoft Word) ou ODT (Processador de Texto do Open Office);
- Estudos duplicados, encontrados previamente em outra(s) fonte(s);
- Estudos indisponíveis, que não puderam ser recuperados; e
- Estudos em outros idiomas, que não sejam o Inglês.

A.3 Condução da Busca por Estudos Primários

Esta seção apresenta os detalhes da condução da busca dos estudos primários, apresentando números sobre os estudos recuperados.

Procedimento e Seleção

A Figura 1.1 apresenta os procedimentos de seleção dos estudos primários.

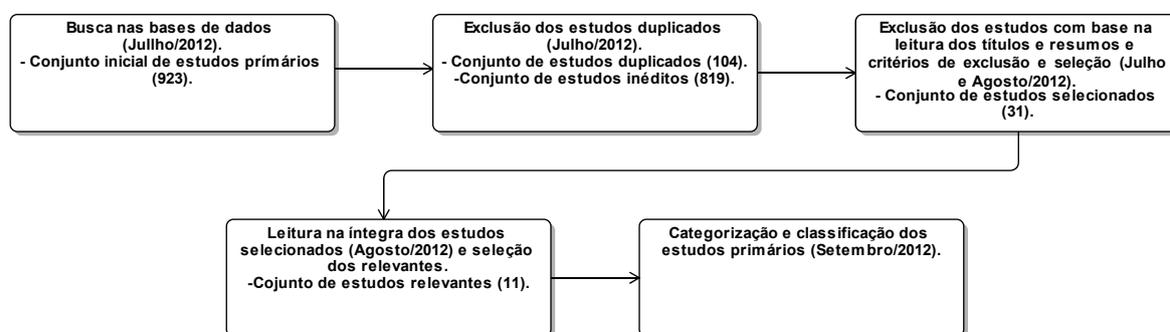


Figura 1.1: Etapas do Processo de Seleção dos Estudos Primários.

Os passos elencados a seguir especificam, resumidamente, os procedimentos realizados para a busca e seleção dos estudos, conforme apresentado na Figura 1.1:

- Pesquisa nas bases de dados para identificar estudos usando os termos de busca em *strings* formatadas especificamente para cada base de busca, conforme apresentado na Tabela 1.2.
- Exclusão dos estudos duplicados, seguido pelos irrelevantes identificados com base na análise de seus títulos e resumos, e mediante os critérios de exclusão.

Tabela 1.2: Strings de Busca por Base.

Bases	Strings de Busca
ACM	(Abstract:software) AND (Abstract:("product line" or "product-line" or "product-family" or "product family" or "family of products" or "variability")) AND (Abstract:("sequence diagram" or "collaboration diagram" or "interaction diagram" or OCL or "object constraint language" or "consistency checking" or "package merge" or "package merging"))
ScienceDirect	title-abs-key (software AND ("product line" OR product-line OR product-family OR "product family" OR "family of products" OR "variability") AND ("sequence diagram" or "collaboration diagram" or "interaction diagram" or OCL or "consistency checking" or "object constraint language" or "package merge" or "package merging"))
Google Scholar	("software" AND "product line" OR "product-line" OR "product-family" OR "product family" OR "family of products" OR "variability") AND ("sequence diagram" or "collaboration diagram" or "interaction diagram" or "OCL" or "consistency checking" or "object constraint language" or "package merge" or "package merging")
Scirus (Elsevier)	software AND "product line" OR "product-line" OR "product-family" OR "product family" OR "family of products" OR "variability" AND "sequence diagram" or "collaboration diagram" or "interaction diagram" or "OCL" or "consistency checking" or "object constraint language" or "package merge" or "package merging"
Scopus	("software") AND ("product line" OR "product-line" OR "product-family" OR "product family" OR "family of products" OR "variability") AND ("sequence diagram" or "collaboration diagram" or "interaction diagram" or "OCL" or "consistency checking" or "object constraint language" or "package merge" or "package merging")
IEEE	(software) AND ("product line" OR "product-line" OR "product-family" OR "product family" OR "family of products" OR "variability") AND ("sequence diagram" OR "collaboration diagram" OR "interaction diagram" OR OCL OR "object constraint language" OR "consistency checking" OR "package merge" OR "package merging")
Compendex	("software") AND ("product line" OR "product-line" OR "product-family" OR "product family" OR "family of products" OR "variability") AND ("sequence diagram" or "collaboration diagram" or "interaction diagram" or "OCL" or "consistency checking" or "object constraint language" or "package merge" or "package merging")

- Leitura na íntegra dos estudos selecionados pelo passo anterior, seguindo também os critérios de inclusão e exclusão para filtragem dos mesmos.
- Categorização e Classificação dos estudos primários recuperados.

A.4 Seleção de Estudos Primários baseada em Critérios de Inclusão e Exclusão

A busca nas bases de dados ocorreu em julho de 2012 e 923 trabalhos foram recuperados. Os trabalhos por base de busca são apresentados na Tabela 1.3.

Tabela 1.3: Resultados Preliminares incluindo Repetidos.

Resultados Preliminares por Bases de Busca		
Bases	Resultados	
ACM	355	38,46%
Compendex	30	3,25%
Google Scholar	100	10,83%
IEEE	32	3,47%
ScienceDirect	279	30,23%
Scirus (Elsevier)	74	8,02%
Scopus	53	6%
Total	923	100,00%

Estes estudos primários foram então analisados para eliminação dos duplicados, resultando então em um total de 819 estudos, resumidos na Tabela 1.4.

Tabela 1.4: Resultados sem Estudos Duplicados.

Resultados por Bases de Busca (Sem Trabalhos Duplicados)		
Bases	Resultados	
ACM	352	42,97%
Compendex	23	2,81%
Google Scholar	42	5,13%
IEEE	32	3,91%
ScienceDirect	256	31,26%
Scirus (Elsevier)	74	9,04%
Scopus	40	5%
Total	819	100,00%

A diferença entre os estudos recuperados e os duplicados por base são apresentados na Figura 1.2.

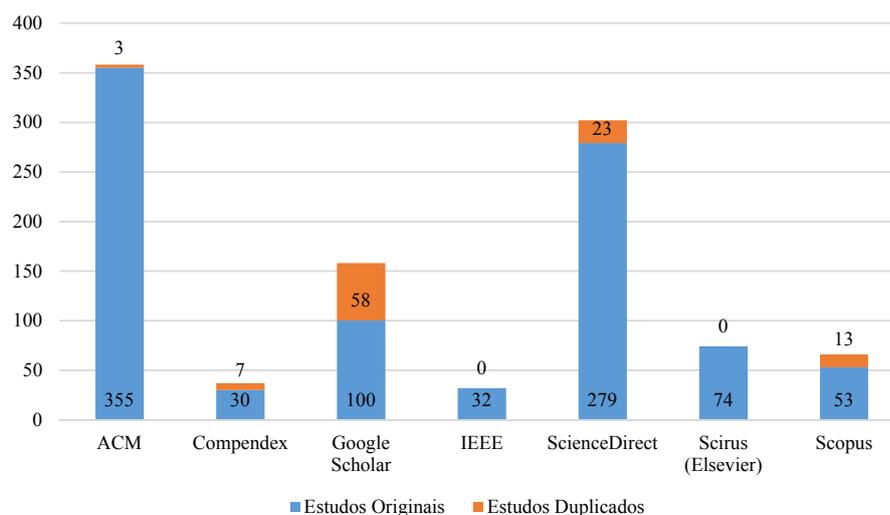


Figura 1.2: Estudos Originais e Duplicados por Base de Busca.

A seleção por meio da leitura dos títulos e resumos, bem como a aplicação dos resultados aos critérios de exclusão e inclusão resultaram em um total de 31 estudos para a leitura na íntegra. A meta-análise dos 31 estudos selecionados são apresentados por meio dos gráficos a seguir.

A Figura 1.3 apresenta os 31 estudos divididos por bases de busca. Nota-se que a maior parte desses (29%) foram retornados na base da ACM, seguido pelos resultados da base da IEEE (23%) e do Google Scholar (19%). A base da Scirus (Elsevier) não apresentou nenhum estudo selecionado para a etapa final, de leitura na íntegra.

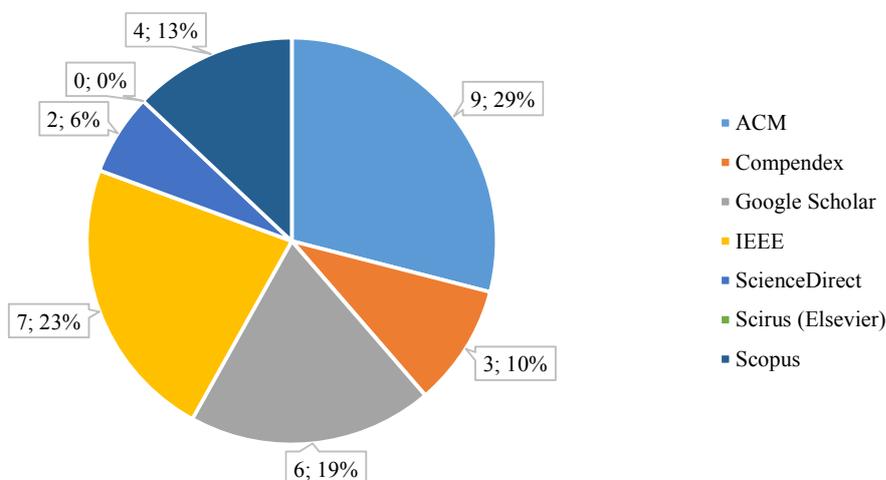


Figura 1.3: Estudos Seleccionados para Leitura na Íntegra.

Os 31 estudos classificados por ano de publicação são apresentados na Figura 1.4. Nota-se que o ano de 2010 apresentou o maior índice de publicações, e 2002 o menor.

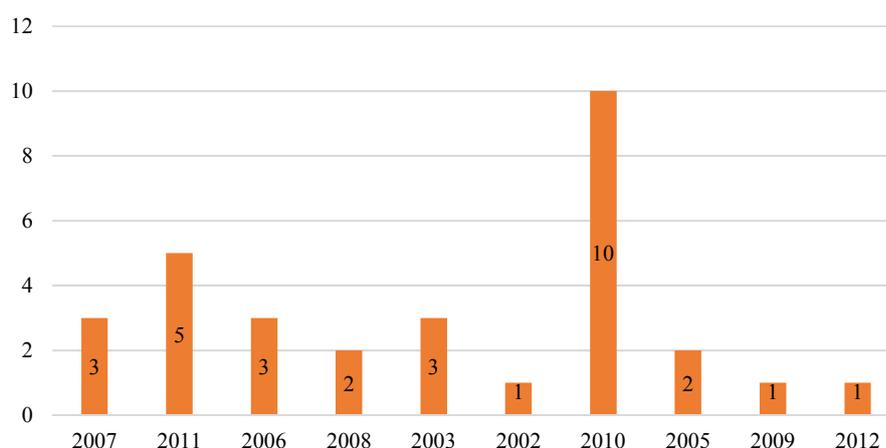


Figura 1.4: Estudos recuperados por Ano de Publicação.

Visando representar a quantidade de estudos divididas por questões de pesquisa, a Figura 1.5 apresenta a quantidade de estudos classificadas segundo estas (Q2, Q3 e Q4 - Seção A.2.1). Desses estudos, 12 foram classificados com outros temas, não pertinentes aos buscados. Esta indicação ocorreu após a leitura desses estudos, em sua íntegra, visto que seus resumos apresentavam indícios que permitiram com que passassem para a etapa de seleção final.

Para o tópico relacionado a modelos de interação, relacionados a questão Q2 de pesquisa, foram obtidos 5 estudos. Para o tópico correspondente a questão Q3, sobre a utilização da *package merge*, foram retornados 4 estudos. Já para o tópico correspondente

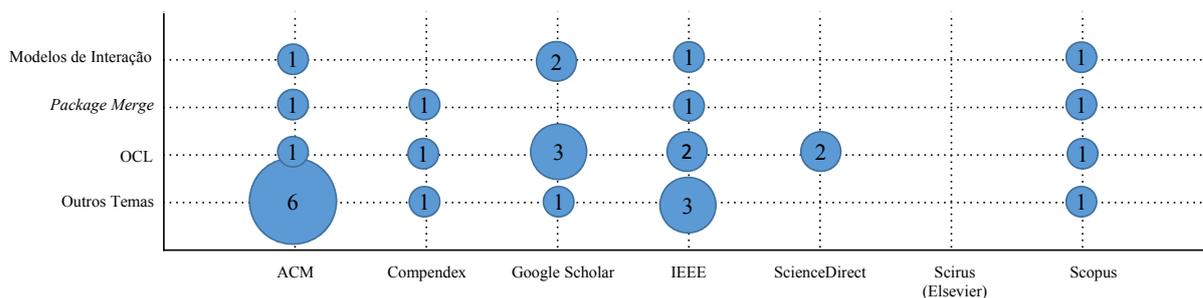


Figura 1.5: Quantidade de Estudos por Tópico e Base de Busca.

a OCL (Q4), foram retornados a maior quantidade, 10 estudos. Assim, foram totalizados os 31 estudos que foram lidos integralmente, na etapa de seleção final. Alguns dos estudos tratam de dois tópicos, para esses optou-se por classificá-los pelo tópico que é mais priorizado nos estudos, entretanto a classificação relacionada a duas das questões de pesquisa são especificadas na próxima seção.

Após a leitura dos estudos, e a análise desses por meio da aplicação dos critérios de exclusão e inclusão, foram identificados 11 estudos em potencial. O total de estudos por base de busca são apresentados na Figura 1.6.

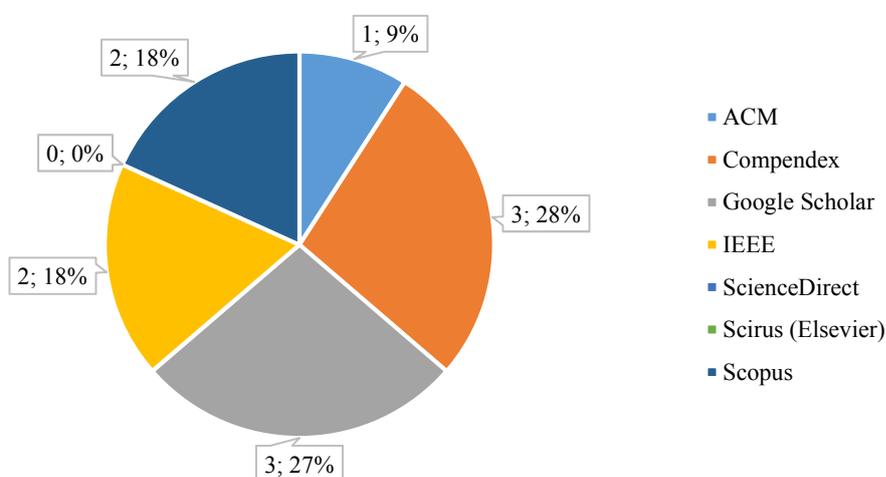


Figura 1.6: Estudos Primários Selecionados.

A seleção final avaliou a qualidade dos estudos e sua relevância, por meio de uma leitura completa dos estudos pré-selecionados, almejando considerar ou descartar resultados apresentados por cada um, garantindo assim, para a próxima etapa, a redação de uma análise crítica ressaltando a aplicação de diagramas de interação, mecanismo de *package merge*, e a verificação da consistência por meio de OCL para LPS na atividade de gerenciamento de variabilidade.

A.5 Classificação dos Estudos Primários

Para a classificação dos estudos primários recuperados duas facetas para a criação do mapa de trabalhos retornados e suas classificações foram definidas. A primeira delas referem-se aos três principais conceitos objetivados neste estudos: modelos de interação, *package merge* e OCL, e o segundo referem-se ao protocolo de categorização proposto por Wieringa et al. (2006), resumida nos itens a seguir:

- **Pesquisa de validação:** nesta categoria são classificados os estudos que indicam a avaliação de novas técnicas ainda não adotadas pela indústria;
- **Pesquisa de avaliação:** classificam os estudos referentes a validação de práticas da indústria;
- **Pesquisa de solução:** abrange os estudos que discutem técnicas novas ou revisadas;
- **Estudos filosóficos:** classifica os estudos que estruturam um campo, como as taxonomias;
- **Estudos de opinião:** classifica os estudos que apresentam uma posição sobre determinado tema, tecendo opiniões sobre o mesmo (*position papers*); e
- **Estudos de experiência:** que classifica os estudos que discutem como algo foi aplicado na prática.

Os 11 estudos, elencados por tipo de publicação e bases, são apresentados na Figura 1.7.

A Tabela 1.6 apresenta um resumo das principais informações dos 11 estudos. A coluna “Questões de Pesquisa” apresentam a classificação dos estudos de acordo com as questões propostas, considerando apenas as questões Q2, Q3 e Q4, visto que a primeira questão (Q1) corresponde a quantidade de estudos retornados, já apresentados anteriormente. Para estudos que apresentaram mais de um dos focos de pesquisa, estes foram apresentados com ambos os temas, no entanto, são classificados posteriormente em uma única categoria, correspondente a mais relevante.

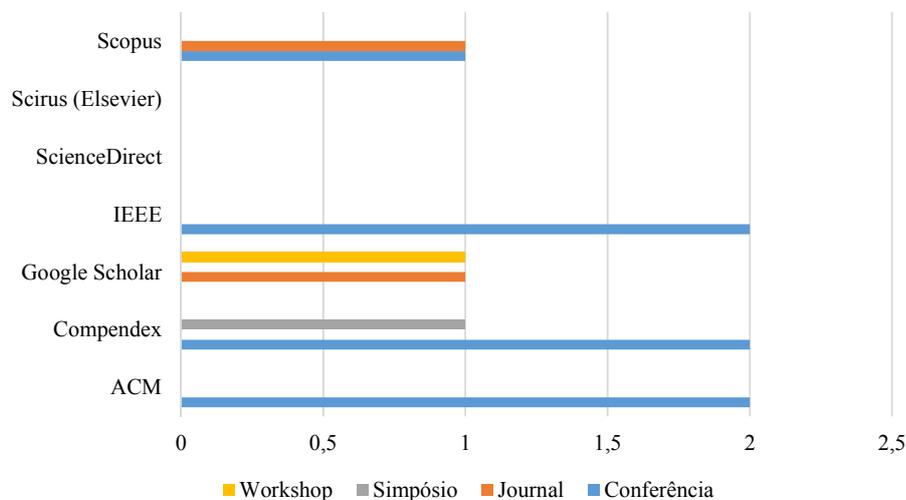


Figura 1.7: Estudos Primários Seleccionados por Tipo de Publicação e Base.

Tabela 1.5: Estudos Seleccionados.

ID	Questão de Pesquisa	Título	Autor(es)	Ano	Base de Busca	Qualis	Publicado em
1	Q2. Modelos de Interação	Multiple-View Meta-Modeling of Software Product Lines	<i>Gomaa e Shin</i>	2002	IEEE	B1	ICECCS - Int. Conf. on Engineering of Complex Computer Systems
2	Q2. Modelos de Interação	Software Product Line Engineering with the UML: Deriving Products	<i>Ziadi e Jézéquel</i>	2006	Google Scholar	-	Livro - Software Product Lines Springer Verlag (Ed.) (2006)
3	Q2. Modelos de Interação Q4. OCL	Product Line Derivation with UML	<i>Ziadi et al</i>	2003	Google Scholar	C	Software Variability Management Workshop - European Science Foundation - ESB
4	Q2. Modelos de Interação Q3. Package Merge	Software Product Line Testing: a Feature Oriented Approach	<i>Lamancha et al</i>	2012	Scopus	B2	ICIT - IEEE Int. Conf. on Industrial Technology
5	Q3. Package Merge	Seamless Development of Software Product Lines Feature Models to UML Traceability	<i>Laguna et al</i>	2007	ACM	B1	GPCE - Int. Conf. on Generative programming and component engineering
6	Q3. Package Merge	UML Support for Designing Software Product Lines: The Package Merge Mechanism	<i>Laguna e Marqués</i>	2010	Scopus	B1	Journal of Universal Computer Science, vol. 16, no. 17 (2010) J.UCS
7	Q4. OCL	A Proposal for Consistency Checking in Dynamic Software Product Line Models Using OCL	<i>Marinho</i>	2010	ACM	A1	ICSE ACM/IEEE Int. Conf. on Software Engineering
8	Q4. OCL	Details of Formalized Relations in Feature Models Using OCL	<i>Streitferdt et al</i>	2003	IEEE	B1	ECBS - IEEE Int. Conf. and Workshop on the Engineering of Computer-Based Systems
9	Q4. OCL	A Software Product Line Approach for E-Commerce Systems	<i>Laguna e Hernández</i>	2010	Compendex	B2	ICEBE IEEE Int. Conf. on e-Business Engineering
10	Q4. OCL	A Flexible Requirements Analysis Approach for Software Product Lines	<i>Guelfi e Perrouin</i>	2007	Compendex	B3	REFSQ-Int. working Conf. on Requirements engineering: foundation for software quality
11	Q4. OCL	A Verification Mechanism of Feature Models for Mobile and Context-Aware Software Product Lines	<i>Marinho et al</i>	2011	Compendex	C	Brazilian Symposium on Software Components, Architectures and Reuse

A coluna “Qualis”². apresentam a classificação dos estudos segundo a CAPES. Esta mesma classificação foi quantificada e apresentada na Figura 1.10.

²Qualis é o conjunto de procedimentos utilizados pela Capes para estratificação da qualidade da produção intelectual dos programas de pós-graduação. A estratificação da qualidade dessa produção

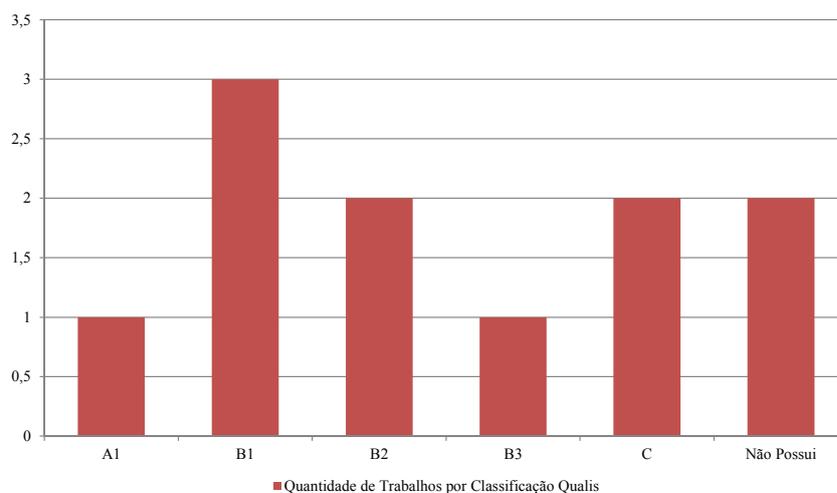


Figura 1.8: Quantidade de Estudos por Qualis.

O *bubble plot* da Figura 1.11 apresenta o mapa sistemático com as duas facetas de classificação definidas na Seção A.3.

Nota-se que todos os 11 estudos foram classificados como estudos de solução, propondo novas técnicas no gerenciamento de variabilidade de LPS com o uso de modelos de interação ou *package merge* ou OCL. Para os estudos que apresentam dois dos focos de pesquisa, conforme apontado na Tabela 1.6, o de maior ênfase foi considerado para a indicação na Figura 1.11.

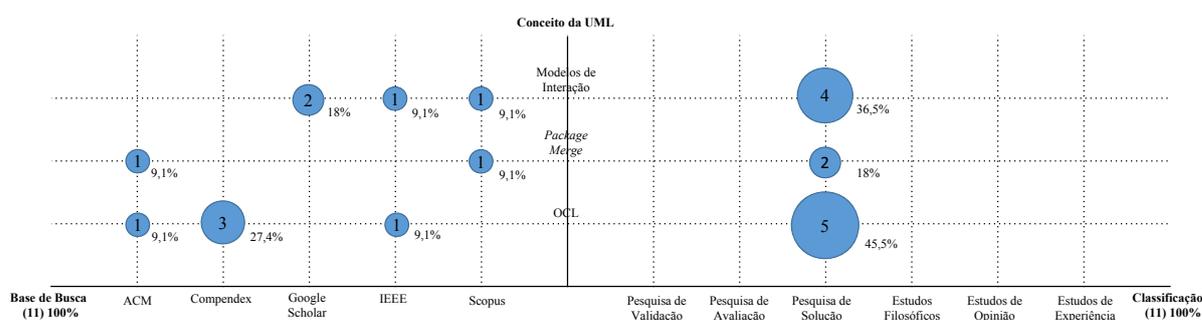


Figura 1.9: Visualização do Mapa Sistemático.

é realizada de forma indireta. Dessa forma, o Qualis afere a qualidade dos estudos primários e de outros tipos de produção, a partir da análise da qualidade dos veículos de divulgação, ou seja, periódicos científicos.

A.6 Extração dos Resultados e Agregação

No processo de seleção final dos estudos, foram coletados alguns dados relevantes. Tais dados extraídos foram:

- Título: título do trabalho
- Autores: nome dos autores e co-autores do trabalho.
- Ano de Publicação: ano de publicação do trabalho;
- Publicação: origem da publicação? Onde esta ocorreu (evento, conferência, etc.)?;
- Classificação no Qualis: classificação no Qualis da conferência onde o trabalho foi publicado;
- Classificação do Tema Abordado: Classificação seguindo a primeira faceta definida, correspondente a modelos de interação, *package merge* ou OCL;
- Classificação do Tipo de Estudo: categorização de acordo com o protocolo proposto por Wieringa et al. (2006), já apresentado anteriormente;
- Fonte: onde o trabalho foi obtido;
- Quantidade de Páginas;
- Palavras-chave;
- Resumo; e
- Visão geral do trabalho: Análise sucinta do trabalho apresentado os pontos de destaque.

Para auxílio no manutenção de tais dados, foi utilizada a ferramenta open source, JabRef³, que auxilia no gerenciamento de referências bibliográficas.

A síntese teórica dos 11 estudos selecionados é apresentada a seguir, por ordem de questões de pesquisa.

³<http://jabref.sourceforge.net>

A.6.1 Estudos Selecionados

Os 11 estudos selecionados são apresentados na Tabela 1.6. A coluna “Questões de Pesquisa” apresentam a classificação dos estudos de acordo com as questões propostas, considerando apenas as questões Q2, Q3 e Q4, visto que a primeira questão (Q1) corresponde a quantidade de estudos retornados, já apresentados anteriormente. Para estudos que apresentaram mais de um dos focos de pesquisa, estes foram apresentados com ambos os temas, no entanto, são classificados posteriormente em uma única categoria, correspondente a mais relevante.

Tabela 1.6: Estudos Selecionados.

ID	Questão de Pesquisa	Título	Autor(es)	Ano	Base de Busca	Qualis	Publicado em
1	Q2. Modelos de Interação	Multiple-View Meta-Modeling of Software Product Lines	<i>Gomaa e Shin</i>	2002	<i>IEEE</i>	B1	ICECCS - Int. Conf. on Engineering of Complex Computer Systems
2	Q2. Modelos de Interação	Software Product Line Engineering with the UML: Deriving Products	<i>Ziadi e Jézéquel</i>	2006	<i>Google Scholar</i>	-	Livro - Software Product Lines Springer Verlag (Ed.) (2006)
3	Q2. Modelos de Interação Q4. OCL	Product Line Derivation with UML	<i>Ziadi et al</i>	2003	<i>Google Scholar</i>	C	Software Variability Management Workshop - European Science Foundation - ESB
4	Q2. Modelos de Interação Q3. Package Merge	Software Product Line Testing: a Feature Oriented Approach	<i>Lamancha et al</i>	2012	<i>Scopus</i>	B2	ICIT - IEEE Int. Conf. on Industrial Technology
5	Q3. Package Merge	Seamless Development of Software Product Lines Feature Models to UML Traceability	<i>Laguna et al</i>	2007	<i>ACM</i>	B1	GPCE - Int. Conf. on Generative programming and component engineering
6	Q3. Package Merge	UML Support for Designing Software Product Lines: The Package Merge Mechanism	<i>Laguna e Marqués</i>	2010	<i>Scopus</i>	B1	Journal of Universal Computer Science, vol. 16, no. 17 (2010) J.UCS
7	Q4. OCL	A Proposal for Consistency Checking in Dynamic Software Product Line Models Using OCL	<i>Marinho</i>	2010	<i>ACM</i>	A1	ICSE ACM/IEEE Int. Conf. on Software Engineering
8	Q4. OCL	Details of Formalized Relations in Feature Models Using OCL	<i>Streitferdt et al</i>	2003	<i>IEEE</i>	B1	ECBS - IEEE Int. Conf. and Workshop on the Engineering of Computer-Based Systems
9	Q4. OCL	A Software Product Line Approach for E-Commerce Systems	<i>Laguna e Hernández</i>	2010	<i>Compendex</i>	B2	ICEBE IEEE Int. Conf. on e-Business Engineering
10	Q4. OCL	A Flexible Requirements Analysis Approach for Software Product Lines	<i>Guelfi e Perrouin</i>	2007	<i>Compendex</i>	B3	REFSQ-Int. working Conf. on Requirements engineering: foundation for software quality
11	Q4. OCL	A Verification Mechanism of Feature Models for Mobile and Context-Aware Software Product Lines	<i>Marinho et al</i>	2011	<i>Compendex</i>	C	Brazilian Symposium on Software Components, Architectures and Reuse

A coluna “Qualis”⁴. apresentam a classificação dos estudos segundo a CAPES. Esta mesma classificação foi quantificada e apresentada na Figura 1.10.

⁴Qualis é o conjunto de procedimentos utilizados pela Capes para estratificação da qualidade da produção intelectual dos programas de pós-graduação. A estratificação da qualidade dessa produção é realizada de forma indireta. Dessa forma, o Qualis afere a qualidade dos estudos primários e de outros tipos de produção, a partir da análise da qualidade dos veículos de divulgação, ou seja, periódicos científicos.(?).

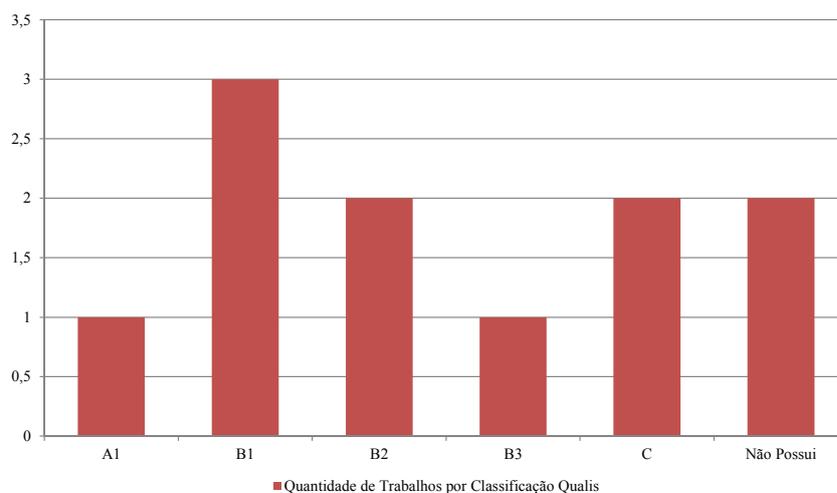


Figura 1.10: Quantidade de Estudos por Qualis.

O *bubble plot* da Figura 1.11 apresenta o mapa sistemático com as duas facetas de classificação definidas na Seção A.3.

Nota-se que todos os 11 estudos foram classificados como estudos de solução, propondo novas técnicas no gerenciamento de variabilidade de LPS com o uso de modelos de interação ou *package merge* ou OCL. Para os estudos que apresentam dois dos focos de pesquisa, conforme apontado na Tabela 1.6, o de maior ênfase foi considerado para a indicação na Figura 1.11.

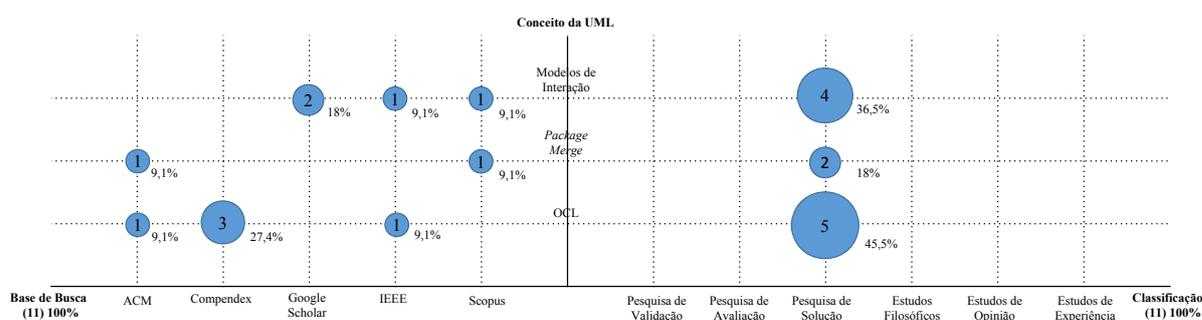


Figura 1.11: Visualização do Mapa Sistemático.

Assim, segue a síntese teórica dos estudos selecionados.

A.6.2 Síntese Teórica dos Estudos Selecionados

Para o maior entendimento dos trabalhos selecionados e elencados na Tabela 1.6, segue síntese teórica sobre os 11 trabalhos selecionados e divididos pela classificação das questões

de pesquisa, visto que a classificação do tipo de artigo foi de pesquisa de solução para todos. Estes estão numerados de acordo com a ID respectiva, apresentada na Tabela 1.6.

- **Q2. Modelos de Interação**

1. Gomaa e Shin (2002) apresentam regras de verificação de consistência baseados no relacionamento entre metaclasses nos metamodelos UML. Tais regras são formalizadas utilizando OCL e são utilizadas para resolver inconsistências entre múltiplas visões em uma mesma fase ou em fases diferentes. Os autores deixam claro que sua proposta pode servir a qualquer LPS modelada em UML, e expressam seu uso em modelos de casos de uso, classes e em modelos de comunicação.

Na seção de estudos relacionados, apresentam diversas abordagens, e ainda, como tais efetuam o processo de checagem de consistência. Nota-se ai o apelo a uma validação manual, propensa a erros. Apresentam também, os diversos mecanismos para efetuar a consistência, bem como para que tipo de abordagem: desenvolvimento de sistemas únicos, ou os desenvolvidos por meio de abordagens de LPS.

Os metamodelos da UML utilizados são definidos, suas diferentes visões, e a partir desses definem a validação de consistência entre as múltiplas visões por meio do *Product Line UML Based Software Engineering Environment* (PLUSEE).

Como limitações indicam a necessidade de estender sua abordagem aos demais modelos da UML, visto que apenas poucos deles foram utilizados, bem como aplicar tal consistência a UML 2.0, uma vez que a versão utilizada foi a UML 1.3.

2. Ziadi e Jezequel (2006) contextualizam o conceito de LPS para a utilização de diagramas de UML (classes e sequência).

Apresentam o estudo de caso com a LPS *Mercure Product*, inicialmente com seu modelo de características (desenvolvido com base na abordagem FODA), apresentam em seguida os diagramas de classe e a definição de estereótipos para variabilidades, os pontos de variação e variantes. Propõem também dois tipos de restrições com OCL: específicas e genéricas.

Os autores fazem uso do padrão de projeto *Abstract Factory* com um modelo de decisão associado com o diagrama de classes de LPS e também um algoritmo

baseado em modelos de transformação para derivar diagramas de classes de produtos.

Após a derivação e uso deste algoritmo apresentam o conceito sobre diagrama de sequência e como representar variabilidade por meios desses. Com a representação em tais diagramas, e utilizando notações algébricas derivados de tais modelos (também para resolver variabilidades), passam a desenvolver modelos de diagramas de estados, para apresentar as variabilidades com o uso desses. Esse processo faz uso de uma ferramenta, ainda em fase de testes, implementada em Java e de um plug-in específico para o Eclipse.

3. Ziadi et al. (2003b) visam contribuir com definições de padrões para modelagem de variabilidade em LPS, criando restrições arquiteturais para estas, por meio de modelos UML e restrições OCL. São introduzidos conceitos sobre LPS e gerenciamento de variabilidade, e assim apresentado um estudo de caso com o Mercure SPL, o qual é uma família de *Switched Multi-Megabits Data Service* (SMDS).

Especificam as características (mandatórias, opcionais, etc.) utilizando os modelos do FODA, em seguida tal modelo é rastreado para o diagrama de classes da UML e assim, restrições são criadas no metamodelo com OCL, demonstrando como mapear as dependências de LPS para esta linguagem de consistência.

Para a variação dos modelos indica a utilização de um arcabouço denominado UMLAUT, combinado com a linguagem de modelo de transformação (MTL). UMLAUT é um framework dedicado a manipulação de modelos descritos utilizando UML, e este está sendo atualizado para permitir a extensão e identificação de regras OCL. A derivação dos modelos para OCL permitem a identificação da rastreabilidade de itens da LPS, e a consistência dos mesmos.

4. Lamancha et al. (2012) conceituam LPS e o modelo de características, introduzido em seguida o *Feature Oriented Software Development* (FOSD), programa que permite que um aplicativo complexo seja desenvolvido a partir de programas simples, adicionando recursos de forma incremental, usando composição de função.

O trabalho foca no desenvolvimento de produtos e no teste destes, porém é apresentada a utilização de diagramas de sequência para modelos de resolução de variabilidade. Ainda são apresentados conceitos de composição de pacotes

(package merge) e como estes representam variabilidades, e assim, são testados os programas derivados a partir dos modelos UML.

- **Q3. *Package Merge***

5. Laguna et al. (2007) apresentam as limitações relacionadas a apresentação de variabilidades por meio dos modelos UML nos quais, por exemplo, a especialização em um diagrama de classes representa um ponto de variação pode dificultar a utilização de modelo UML e de seu entendimento. Logo o estudo propõe a utilização do conceito de *package merge* como metamodelo de representação da variabilidade em LPS.

Explica-se como realizar o rastreamento entre os modelos de características (presentes na abordagem FODA) com os da UML, principalmente por meio do estereótipo <<extend>>, apresentam também a necessidade de inserir elementos auxiliares para expressar e representar pontos de variabilidade em ferramentas CASE. Em seguida especificam o mecanismo de *package merge* e tal conceito é aplicado a LPS, especificando as restrições de variabilidades e demonstrando como essas podem ser transformadas em XML e assim, importadas em ferramentas CASE, com a utilização de um plug-in chamado fmp.

6. Laguna e Marques (2010) inicialmente apresentam os conceitos básico sobre LPS e a rastreabilidade dos modelos de característica e o diagrama de classes da UML, em seguida introduzem o mecanismo de *package merge*, e sua aplicação a modelos com representatividade de LPS.

Exemplificam ainda, um método para transformar modelos de configuração em pacotes representativos de LPS, utilizando a estratégia dirigida a modelos. Esta definição de transformação é baseada no padrão da OMG denominado QVT.

Para a representação dos modelos utilizou o Visual Studio da Microsoft para linguagem C#. E finalmente, um estudo de caso para uma LPS de e-commerce é exemplificado.

- **Q4. OCL**

7. Marinho (2010) indicam que a crescente demanda na utilização de aplicativos para dispositivos móveis e de análise de contexto culminam na necessidade de

formalizar as LPS, para que essas possam garantir a consistência necessária para derivar produtos com qualidade.

O estudo propõe um mecanismo para formalizar e verificar a consistência de modelos de características para tais tipos de aplicativos. O trabalho explora as hipóteses em torno das variabilidades, propondo um mecanismo de verificação em tempo de desenvolvimento com o perfil UML 2.3 enriquecido com OCL.

Diversos exemplos de ferramentas que verificam a validação por meio de especificações OCL são apresentadas como Magic Draw e Papyrus. Em seção de destaque, apresentam modelos de verificação, e traça-se um paralelo com a proposta de aplicações móveis, identificado a real validade de utilização destas. Posterior a isso, apresentam como derivar o modelo UML para o propósito do trabalho, utilizando seus estereótipos e aplicando, por meio destes, em pontos de variação. Desenvolvem ainda, exemplos de regras com o uso de OCL para a aplicação em diagrama de classes, e com base nessas, como devem ser realizadas as verificações dos mesmos.

Definem ainda, três fases de verificação: na primeira verifica-se a correteude dos modelos de sistema e modelos de contexto. Na segunda, concentra-se na correção e verificação de consistência das regras desses modelos e, por último, as atividades correspondentes a consistência das configurações de produtos da LPS, todos realizados em tempo de desenvolvimento. A verificação das inconsistências é definida passo a passo, e é realizada de forma manual.

8. Streitferdt et al. (2003) propõem a utilização de OCL para a verificação de consistência para o modelo de características (feature model), estendendo-a e recebendo o codinome de A-OCL.

Por sua vez, a A-OCL foi aplicada ao *feature model* definido na abordagem denominada *Feature Oriented Domain Analysis* (FODA). Na proposta utilizam da OCL para restringir e identificar as variabilidades e escolhas das variantes para sua solução, utilizando contextos matemáticos, contextos para *features* com dependências (*requires*) e restrições (*excludes*).

O estudo é concluído indicando que sua extensão permite um fácil entendimento e visualização do modelo de características que, se demasiado grande pode dificultar o entendimento, e levar a resolução de variabilidades errôneas.

9. Laguna e Hernandez (2010) focam na derivação de produtos do tipo *e-commerce*, com a utilização da ferramenta MS Visual Studio e .NET.

Apresentam técnicas propostas com a utilização de relacionamentos de *package merge* da UML 2 e o mecanismo de classes parciais. A justificativa para o uso do mecanismo de *package merge* é que este permite um claro rastreamento entre os modelos de características e com os modelos da UML, entretanto há um problema que consiste em associar os pacotes para cada característica opcional, desta forma são mantidos dois níveis de metamodelos, um da UML, sem as notações da LPS e outra com.

Apresentam ainda como foram utilizados os rastreamentos entre os modelos, para serem aplicados os conceitos na LPS *e-commerce*, por meio do desenvolvimento de uma ferramenta denominada *Feature Model Tool* (FMT), que permite a representação no Microsoft Visio da estrutura de pacotes em LPS.

O conceito de classes parciais consiste em manter partes de uma classe, em pacotes diferentes, porém, como estas classes possuem o mesmo nome, são mescladas, e assim utilizadas como uma classe única, contemplando seus atributos e componentes.

10. Guelfi e Perrouin (2007), em seu estudo, indicam a ineficiência do modelo atual de características, que necessita que o projetista conheça a representação de variabilidade de antemão, para então conseguir derivar configurações do núcleo de artefatos, neste contexto propõe soluções a nível de análise, trazendo flexibilidade tanto nos modelos de engenharia de domínio, quanto na aplicação em engenharia de processos.

A proposta indica a utilização de um modelo de análise que não demonstra explicitamente os pontos de variação, mas estes existem e são construídos por meio de OCL, restringindo o processo de execução de derivação de produtos. Apresentam ainda, duas abordagens para análise de LPS. Uma por configuração e outra por transformação. Para a primeira destaca-se o *Kobra Components* e para a segunda o uso do *Model Driven Engineering* (MDE), ou Engenharia Dirigida a Modelos. Em seguida especificam o modelo proposto: modelo de análise FIDJI, baseado em um arcabouço orientado a objetos, que permite a análise de diagramas de classes e camada adicional de consistência provida pelo OCL. O estudo segue com indicações do processo para utilização de tal modelo e um exemplo, utilizando um estudo de caso inspirado na Automatic Teller Machines (ATM).

No exemplo é apresentada a derivação de produtos, com terminologias da OCL, utilizando o modelo proposto. Assim o estudo define duas maneiras

de introduzir flexibilidade na análise de requisitos de LPS: por introdução de variáveis de estado para definir as restrições sobre os cenários possíveis de produtos, a fim de delimitar as fronteiras implicitamente da LPS e ainda, é fornecida assistência para os desenvolvedores de produtos em termos de uma linguagem de transformação, permitindo derivar esses de uma forma concisa.

11. Marinho et al. (2011) apresenta a proposta inicial para a aplicação de OCL em perfis UML, para LPS sensíveis ao contexto. Apresenta trabalhos relacionados e expõe a fundamentação teórica para apoiar o uso de modelos UML para representar tais tipos de LPS, e consisti-las por meio de expressões OCL. Mesmo se tratando de uma proposta inicial do trabalho, apresenta considerações relevantes a serem exploradas.

A.7 Limitações

Quanto as limitações enfrentadas, a maior dificuldade encontrada foram adaptar as *strings* para cada máquina e busca e bases indexadas, e ainda setá-las de tal forma que os resultados fossem os mais fidedignos aos esperados e definidos com as variações dos termos utilizados. Uma outra dificuldade foi a não disponibilização de alguns estudos nas máquinas de busca comuns, principalmente a IEEE e ACM e aqueles que apresentaram links indisponíveis, o que fez com que tais fossem buscados em outros mecanismos ou descartados (vide critérios de exclusão - Seção A.2.3).

A.8 Conclusões

Mapeamentos sistemáticos permite que uma determinada área de pesquisa seja averiguada e analisada quanto a como a condução de estudos estão sendo realizados, quais os contextos que estão inseridos, e também pontos em potencial que podem ser explorados (Kitchenham et al., 2011; Petersen et al., 2008).

O mapeamento conduzido apresentou quantidade relevante de estudos, 819 estudos primários, desconsiderando os repetidos. No entanto, para atender ao escopo deste mapeamento apenas 31 desses estudos passaram pelos critérios de seleção e exclusão, na primeira etapa de seleção.

Na segunda etapa, estes 31 estudos foram lidos na íntegra, e possibilitou a seleção mais fidedigna de trabalhos, também com base nos protocolos e critérios previamente definidos. Ao final 11 trabalhos em potencial foram selecionados para uma análise detalhada das

propostas relacionadas aos temas de pesquisa: modelos de interação, *package merge* e OCL, no domínio de linha de produto de software, no contexto de abordagens de gerenciamento de variabilidade.

Assim, foram tecidas algumas considerações relevantes, que norteiam possíveis futuras pesquisas, e propostas para extensões significativas para abordagens de gerenciamento de variabilidade baseadas em UML, uma vez que os conceitos estão todos relacionados a esta, tal como SMarty é baseada.

- Incipiência de validações e avaliações de propostas. As tentativas de validar as soluções propostas seguem exemplos, ou estudos de caso que não formalizam o real resultado obtido pela aplicação da solução indicada nos estudos primários retornados, isso quando tais estudos são apresentados. A grande maioria indica que a avaliação ocorrerá em momento posterior, no entanto estas não foram retornadas, o que indica uma lacuna a ser preenchida, por meio da condução de estudos empíricos destas propostas;
- Poucos trabalhos recuperados. A quantidade pequena de trabalhos retornadas, mediante a aplicação dos critérios definidos apresenta uma lacuna na existência de abordagens de gerenciamento de variabilidade que utilizam tais elementos da UML, assim a exploração destes se faz necessária. Outro ponto percebido, é que grande parcela dos estudos focam na utilização dos conceitos de UML ao propor o rastreamento e transferência dos elementos de variabilidade dos modelos de características (*features*) para modelos UML. SMarty tem como proposta a utilização direta de modelos UML para representar e identificar variabilidades, o que pode representar um novo patamar a ser avaliado, se utilizado os conceitos recuperados no mapeamento.
- Relatos vagos quanto as limitações nos estudos recuperados. As limitações e problemas enfrentados são apresentados de forma vaga na maioria dos estudos, o que dificulta a proposta e utilização destes como base para a criação de novas soluções. A transparência quanto aos problemas enfrentados e lacunas existentes garante a resolução destas em pesquisas futuras, e tornam assim, elementos em potencial para serem verificados por meio de estudos de caso ou avaliações empíricas.

Ainda sobre os estudos recuperados, a maior parcela dos estudos conduziram sucintas explicações sobre a utilização de um mecanismo automático para a verificação dos modelos gerados utilizando perfis UML e restrições aplicadas com UML. Diversas ferramentas

e plug-ins foram apresentados com este intuito, porém estas não foram especificadas formalmente, permitindo serem usadas.

A rastreabilidade entre os modelos de características, principalmente o derivado da abordagem *Feature-Oriented Domain Analysis* (FODA), para os modelos UML, alvo das pesquisas desse mapeamento foram apresentados com riquezas de detalhe, se mostrando úteis. Inclusive as propostas de automatização e metodologias para a derivação de modelos de alto nível, como os de classe para de mais baixo nível, como os de sequência e também para o mecanismo de *package merge*.

Finalmente, a insatisfatoriedade da quantidade de estudos recuperados, já mencionado, é fator crítico, porém positivo, visto que, demonstra-se assim a incipiência de estudos que apresentam os conceitos almejados, justificando com maior assertividade a necessidade do desenvolvimento de abordagens para Linhas de Produto de Software no Gerenciamento de Variabilidade que aborem tais propostas.

B

Apêndice B - Avaliação Experimental de Abordagens de Gerenciamento de Variabilidade: um Mapeamento Sistemático

Para a condução das avaliações experimentais de abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML, um levantamento bibliográfico foi conduzido, inicialmente, para obter estudos primários que pudessem auxiliar no projeto e execução de tais conduções.

Para a formalização do levantamento realizado em julho de 2012, um mapeamento sistemático foi conduzido em dezembro de 2013 para recuperar estudos que corroborassem com o resultado anterior e possibilitassem o refinamento e ajustes dos estudos conduzidos.

Os resultados do levantamento bibliográfico realizado previamente apresentou trabalhos que utilizam técnicas experimentais, no entanto, com foco em avaliações de outras abordagens ou elementos, assim esse mapeamento formal conduzido serviu também para identificar colaborações em potencial que avaliassem a efetividade dessas abordagens, no que tange a identificação e representação de variabilidades em modelos UML, para que assim, pudessem ser comparados com os resultados obtidos nas avaliações conduzidas neste trabalho de mestrado.

B.1 Introdução

Abordagens de gerenciamento de variabilidade são fundamentais para a condução correta da instanciação de produtos de uma LPS. Sua importância reflete a quantidade de propostas existentes na literatura, porém a incipiência de avaliações experimentais colocam tais abordagens em xeque para serem adotadas na indústria e na academia, conforme apontam Chen et al. (2009); Galster et al. (2013).

Esse mapeamento sistemático tem como objetivo identificar o estado da arte das validações experimentais conduzidas para abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML, para que possam contribuir com os estudos empíricos executados visando identificar a efetividade de tais abordagens e também para que sirvam como referencial de comparação entre os resultados.

Este mapeamento sistemático está organizado da forma que segue: a Seção B.2 apresenta o escopo deste mapeamento, com a definição das questões de pesquisa, as *strings* de busca e os critérios de seleção e exclusão, na Seção B.3 são conduzidas as buscas nas bases selecionadas, a Seção B.4 apresenta os estudos primários recuperados com base nos critérios de inclusão e exclusão, a Seção B.5 apresenta a classificação dos estudos primários, na Seção B.6 são apresentadas as sínteses teóricas dos estudos selecionados, na B.7 são apresentadas as limitações deste mapeamento e finalmente, na Seção B.8 são apresentadas as conclusões.

B.2 Definição das Questões de Pesquisa

Mapeamentos sistemáticos permitem que os resultados que tenham sido publicados previamente possam ser categorizados e apresentados graficamente. Kitchenham et al. (2011) observam que estudos de mapeamento sistemático usa a mesma metodologia básica de revisões sistemáticas, mas possuem como objetivo identificar e classificar todos as pesquisas relacionadas a um tópico específico de engenharia de software, ao invés de responder questões sobre méritos relativos de tecnologias concorrentes. E concluem que mapeamentos sistemáticos fornece uma base para auxiliar nos esforços de pesquisas específicas.

O propósito deste mapeamento é identificar e caracterizar o corpo de conhecimento relevante na literatura que apresente avaliações empíricas para abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML. O mês de condução deste mapeamento foi em Dezembro/2014. O protocolo seguido para a estruturação e condução deste estudo resume-se nos passos que seguem (Kitchenham et al., 2011; Petersen et al., 2008):

1. Definição das questões de pesquisa, escopo, estratégia de pesquisa e critérios de inclusão e exclusão.
2. Condução da busca por estudos primários.
3. Seleção dos estudos recuperados usando o protocolo estabelecido, bem como a relevância dos estudos e critérios de qualidade definidos (especificação do domínio, apresentação de limitações/problemas).
4. Extração dos dados e agregação por meio de tabelas e gráficos.

B.2.1 Questão de Pesquisa

O propósito deste trabalho é identificar e caracterizar o corpo de conhecimento relevante na literatura, que apresenta validações empíricas para abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML, pela questão de pesquisa:

- **QP1.** Quais estudos apresentam validações empíricas para abordagens de gerenciamento de variabilidade de LPS baseadas em UML?

Esta questão tem duas dimensões de pesquisa. A primeira esta relacionada a identificação dos procedimentos experimentais planejados e executados, para refinamento e utilização em novas avaliações empíricas. A segunda dimensão refere-se a identificação dos resultados de avaliações conduzidas, para que possam ser comparadas com os resultados empíricos de outras avaliações.

B.2.2 Refinamento da Questão de Pesquisa

Com base na questão de pesquisa e suas dimensões, estas foram derivadas em três sub-questões que guiarão este estudo e permitirão uma classificação dos trabalhos recuperados:

- **Q1.** Quais estudos apresentam validações empíricas para abordagens de gerenciamento de variabilidade baseadas em UML?
- **Q2.** Quais estudos apresentam o processo experimental de suas validações para abordagens de gerenciamento de variabilidade baseadas em UML?
- **Q3.** Quais estudos apresentam resultados semelhantes à identificação da efetividade das abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML, no que tange a representação e identificação de variabilidades em tais modelos?

Considerando as questões de pesquisa, foram identificadas um conjunto de palavras chave que propiciem a recuperação de estudos fidedignos ao que está sendo buscado.

O domínio da pesquisa se restringe a validações experimentais, logo o termo chave “experimental validation” foi incluído, além dos termos referentes a LPS, variabilidade e UML. Os termos utilizados foram selecionados de tal forma que fossem simples para trazer os resultados esperados e rigorosos para cobrir os tópicos almejados nas questões de pesquisa. Para integrar os diversos termos foram utilizados operadores lógicos “e” (AND) e “ou” (OR). Assim, a string final de busca definida foi:

(“experimental validation” OR “experimental validation”) AND (“product line” OR “variability” OR “variability management” OR “variability approach”) AND (“UML” OR “unified modeling language”)

Variações para os termos principais foram incluídos para abranger um número maior de estudos. Adicionado a estratégia da definição da *string* de busca, foram estabelecidas as fontes de busca a serem utilizadas.

As bases de dados foram selecionadas mediante indicações de professores da área de engenharia de software e também com as apresentadas por Dyba et al. (2007). Como a identificação da quantidade de trabalhos é relevante, dentre os objetivos da pesquisa, este mapeamento não foi restringido a conferências e *journals* com domínio em LPS. As bases selecionadas são apresentas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Bases de Busca.

Bases de Busca	
Bases	Endereço
ACM	http://dl.acm.org
Compendex	http://ieeexplore.ieee.org
IEEE	http://www.engineeringvillage.org
ScienceDirect	http://www.sciencedirect.com
Scopus	http://www.scopus.com

B.2.3 Critérios de Inclusão e Exclusão

Em conjunto com a definição das *strings* de busca e as bases de busca, foram definidos os critérios de inclusão e exclusão para os estudos a serem mapeados, levando em consideração as questões de busca, permitindo assim a determinação, por meio dos critérios de inclusão e exclusão, a qualidade mínima dos estudos a serem recuperados,

garantindo também que estes estejam em mais comum acordo com os objetivos já definidos.

Foram adotadas os seguintes critérios de inclusão e exclusão para seleção dos estudos neste mapeamento, com base nas questões de busca.

Critérios de Inclusão: Os critérios para a inclusão de estudos primários definidos para cada uma das questões de pesquisa do mapeamento foram:

- **Critério de Inclusão 1:** estudos que apresentam validações empíricas para abordagens de gerenciamento de variabilidade baseadas em UML;
- **Critério de Inclusão 2:** estudos que apresentam o processo experimental de suas validações para abordagens de gerenciamento de variabilidade baseadas em UML; e
- **Critério de Inclusão 3:** estudos que apresentam resultados semelhantes à identificação da efetividade das abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML, no que tange a representação e identificação de variabilidades em tais modelos.

Critérios de Exclusão: Objetivando os estudos que melhor correspondem ao mapeamento presente, foram adotados os seguintes critérios para exclusão:

- **Critério de Exclusão 1:** os estudos que não apresentam validações empíricas para abordagens de gerenciamento de variabilidade baseadas em UML;
- **Critério de Exclusão 2:** os estudos que não apresentam o processo experimental de suas validações para abordagens de gerenciamento de variabilidade baseadas em UML; e
- **Critério de Exclusão 3:** os estudos que não apresentam resultados semelhantes à identificação da efetividade das abordagens de gerenciamento de variabilidades baseadas em UML, no que tange a representação e identificação de variabilidades em tais modelos.

Além dos critérios elencados acima, consideram-se também, como critérios de exclusão, independentemente das questões de pesquisa, os que seguem:

- Os estudos recuperados por meio eletrônico em formatos que não sejam PDF (Portable Document Format), DOC/DOCX (Processador de Texto Microsoft Word) ou ODT (Processador de Texto do Open Office);
- Estudos duplicados, encontrados previamente em outra(s) fonte(s);

- Estudos indisponíveis, que não puderam ser recuperados; e
- Estudos em outros idiomas, que não sejam o Inglês.

B.3 Condução da Busca por Estudos Primários

Esta seção apresenta os detalhes da condução da busca dos estudos primários, apresentando números sobre os estudos recuperados.

Procedimento e Seleção

A Figura 2.1 apresenta os procedimentos de seleção dos estudos primários.

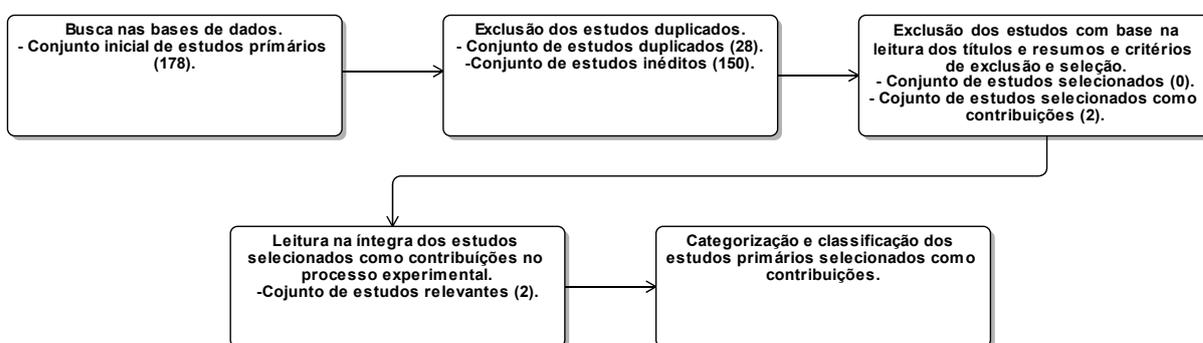


Figura 2.1: Etapas do Processo de Seleção dos Estudos Primários.

Os passos elencados a seguir refletem, resumidamente, os procedimentos realizados para a busca e seleção dos estudos, conforme apresentado na Figura 2.1:

- Pesquisa nas bases de dados para identificar estudos usando os termos de busca em *strings* formatadas especificamente para cada base de busca, conforme apresentado na Tabela 2.2.
- Exclusão dos estudos duplicados, seguido pelos irrelevantes identificados com base na análise de seus títulos e resumos, e mediante os critérios de exclusão.
- Leitura na íntegra dos estudos selecionados pelo passo anterior, seguindo também os critérios de inclusão e exclusão para filtragem dos mesmos.
- Categorização e Classificação dos estudos primários recuperados.

Tabela 2.2: Strings de Busca por Base.

Bases	Strings de Busca
ACM	("experimental validation" OR "empirical validation") AND ("product line" OR "variability" OR "variability management" OR "variability approach") AND ("UML" OR "unified modeling language")
Compendex	((("experimental validation" OR "empirical validation" OR "evaluation") AND ("product line" OR "variability" OR "variability management" OR "variability approach") AND ("UML" OR "unified modeling language"))
IEEE	((("experimental validation" OR "empirical validation") AND ("product line" OR "variability" OR "variability management" OR "variability approach") AND ("UML" OR "unified modeling language"))
ScienceDirect	((("experimental validation" OR "empirical validation") AND ("product line" OR "variability" OR "variability management" OR "variability approach") AND ("UML" OR "unified modeling language"))
Scopus	(TITLE-ABS-KEY(("experimental" OR "empirical" OR "validation" OR "evaluation")) AND TITLE-ABS-KEY(("product line" OR "variability" OR "variability management" OR "variability approach")) AND TITLE-ABS-KEY(("UML" OR "unified modeling language")) AND PUBYEAR > 2003

B.4 Seleção de Estudos Primários baseada em Critérios de Inclusão e Exclusão

A busca nas bases de dados ocorreu em dezembro de 2013 e 178 trabalhos foram recuperados. Os trabalhos por base de busca são apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Resultados Preliminares incluindo Repetidos.

Resultados Preliminares por Bases de Busca		
Bases	Resultados	
ACM	35	19,66%
ScienceDirect	61	34,27%
Scopus	53	30%
IEEE	1	0,56%
Compendex	28	15,73%
Total	178	100,00%

Estes estudos primários foram então analisados para eliminação dos duplicados, resultando então em um total de 150 estudos, resumidos na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Resultados sem Estudos Duplicados.

Resultados por Bases de Busca (Sem Trabalhos Duplicados)		
Bases	Resultados	
ACM	30	20,00%
ScienceDirect	53	35,00%
Scopus	42	28%
IEEE	1	1,00%
Compendex	24	16,00%
Total	150	100,00%

A diferença entre os estudos recuperados e os duplicados por base são apresentados na Figura 2.2.

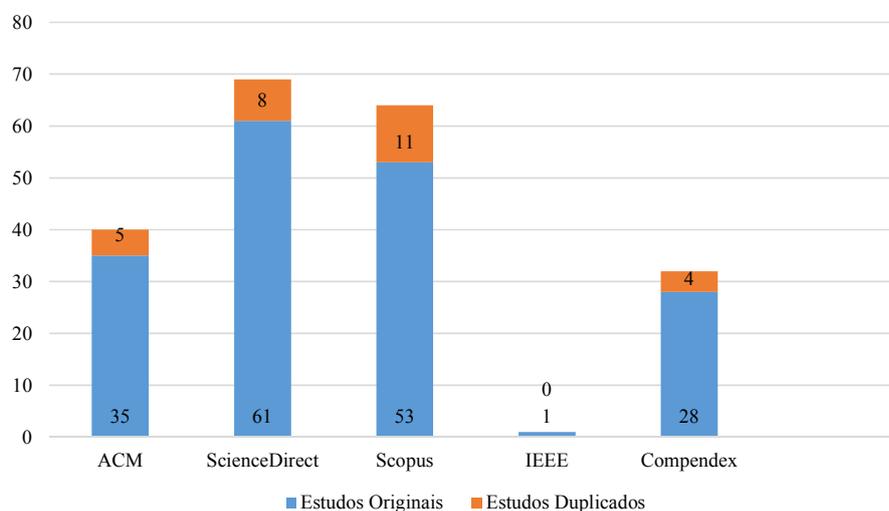


Figura 2.2: Estudos Originais e Duplicados por Base de Busca.

A seleção por meio da leitura dos títulos e resumos, bem como a aplicação dos resultados aos critérios de exclusão e inclusão resultaram em um total de 7 estudos para a leitura na íntegra. A meta-análise dos 7 estudos selecionados são apresentados por meio dos gráficos a seguir.

A Figura 2.3 apresenta os 7 estudos divididos por bases de busca. Nota-se que o número foi reduzido, principalmente pela aplicação dos critérios de exclusão, e que a quantidade ficou empatada para as bases da ACM, Compendex e IEEE em 14% e para a Scopus e ScienceDirect em 29%.

Os 7 estudos elencados por ano de publicação são apresentados na Figura 2.4. Nota-se que nos anos de 2007 e 2010 apresentaram o maior índice de publicações.

Os 7 estudos selecionados para a leitura na íntegra foram excluídos, por não estarem relacionados com as questões de busca, e também por não passarem nos critérios de seleção e inclusão, entretanto, 2 deles apresentaram referências bibliográficas e também detalhes das fases de experimentação detalhadamente, logo foram selecionados pois permitem a identificação e possíveis contribuições no processo de planejamento e condução empírica que foram realizadas, melhorando-as.

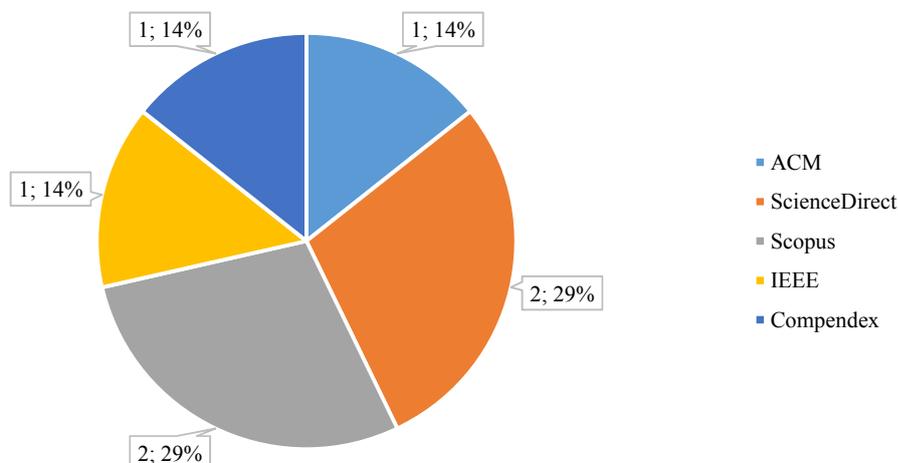


Figura 2.3: Estudos Seleccionados para Leitura na Íntegra.

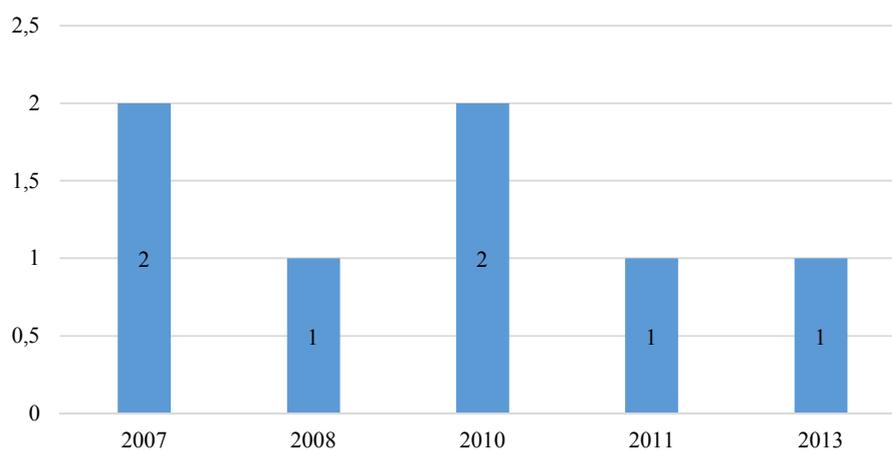


Figura 2.4: Estudos recuperados por Ano de Publicação.

B.5 Classificação dos Estudos Primários

Para a classificação dos estudos primários recuperados, seguiu-se o protocolo de categorização proposto por Wieringa et al. (2006), resumida nos itens a seguir:

- **Pesquisa de validação:** nesta categoria são classificados os estudos que indicam a avaliação de novas técnicas ainda não adotadas pela indústria;
- **Pesquisa de avaliação:** classificam os estudos referentes a validação de práticas da indústria;
- **Pesquisa de solução:** abrange os estudos que discutem técnicas novas ou revisadas;

- **Estudos filosóficos:** classifica os estudos que estruturam um campo, como as taxonomias;
- **Estudos de opinião:** classifica os estudos que apresentam uma posição sobre determinado tema, tecendo opiniões sobre o mesmo (*position papers*); e
- **Estudos de experiência:** que classifica os estudos que discutem como algo foi aplicado na prática.

Os 2 estudos foram classificados, segundo o protocolo de (Wieringa et al., 2006), como estudos de validação. Como estes dois estudos não estão ligados as questões de busca não foram classificados segundo as mesmas.

B.6 Extração dos Resultados e Agregação

No processo de seleção final dos estudos, foram coletados alguns dados relevantes. Tais dados extraídos foram:

- Título: título do trabalho
- Autores: nome dos autores e co-autores do trabalho.
- Ano de Publicação: ano de publicação do trabalho;
- Publicação: origem da publicação? Onde esta ocorreu (evento, conferência, etc.)?;
- Classificação no Qualis: classificação no Qualis da conferência onde o trabalho foi publicado;
- Classificação do Tema Abordado: Classificação seguindo a primeira faceta definida, correspondente a modelos de interação, *package merge* ou OCL;
- Classificação do Tipo de Estudo: categorização de acordo com o protocolo proposto por Wieringa et al. (2006), já apresentado anteriormente;
- Fonte: onde o trabalho foi obtido;
- Quantidade de Páginas;
- Palavras-chave;
- Resumo; e

- Visão geral do trabalho: Análise sucinta do trabalho apresentado os pontos de destaque.

A síntese teórica dos 2 estudos selecionados, a parte, são apresentados a seguir.

B.6.1 Estudos Selecionados

Os 2 estudos selecionados são apresentados na Tabela 2.5. Como já especificado, esses dois estudos foram selecionados por contribuir com referências quanto o processo experimental e assim não são classificados segundo as questões de pesquisa.

Tabela 2.5: Estudos Selecionados.

Trabalhos Selecionados						
ID	Título	Autor(es)	Ano	Base de Busca	Qualis Índice-H	Publicado em
1	Assessing the Influence of Stereotypes on the Comprehension of UML Sequence Diagrams: A Controlled Experiment	<i>Genero et al.</i>	2008	<i>ScienceDirect</i>	A2	Int. Conf. on Model Driven Engineering Languages and Systems
2	Empirical Validation of Complexity and Extensibility Metrics for Software Product Line Architectures	<i>Oliveira et al.</i>	2010	<i>IEEE</i>	B4	Brazilian Symposium on Software Components, Architectures and Reuse (SBCARS)

A coluna “Qualis”¹. apresentam a classificação dos estudos segundo a CAPES. Para o maior entendimento dos trabalhos selecionados e elencados na Tabela 1.6, segue síntese teórica sobre os 2 trabalhos selecionados, que estão numerados de acordo com a ID respectiva, apresentada na tabela de estudos selecionados.

B.6.2 Síntese Teórica dos Estudos Selecionados

Para o maior entendimento dos dois trabalhos selecionados e elencados na Tabela 2.5, segue síntese teórica destes, que estão numerados de acordo com a ID respectiva, apresentada na Tabela 2.5.

1. Genero et al. (2008): O estudo apresentado por Genero et al. (2008), corresponde à identificação da efetividade e eficácia no uso de estereótipos em diagramas de sequência da UML. Executando um experimento e duas replicações, onde estudantes identificavam o nível de compreensão em modelos de sequência com e sem estereótipos, resultando em evidências de que os estereótipos nesses modelos auxiliam

¹Qualis é o conjunto de procedimentos utilizados pela Capes para estratificação da qualidade da produção intelectual dos programas de pós-graduação. A estratificação da qualidade dessa produção é realizada de forma indireta. Dessa forma, o Qualis afere a qualidade dos estudos primários e de outros tipos de produção, a partir da análise da qualidade dos veículos de divulgação, ou seja, periódicos científicos.

a compreensão. O estudo apresenta contribuições de outros estudos empíricos, mas todos com foco na identificação da compreensibilidade com uso de estereótipos, entretanto, o modelo proposto para o planejamento e condução experimental auxilia o processo experimental aqui apresentado.

2. Oliveira Junior et al. (2010b) apresenta a validação experimental de métricas de complexidade e extensibilidade para arquiteturas de linha de produto (ALP), utilizando como técnicas testes de normalidade (Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov) e a correlação de Spearman. Para o desenvolvimento dos experimentos, as propostas de Wohlin et al. (2012) e de Perry et al. (2000) foram seguidas.

B.7 Limitações

Quanto as limitações enfrentadas, a maior dificuldade encontrada foram adaptar as *strings* para cada máquina e busca e bases indexadas, e ainda setá-las de tal forma que os resultados fossem os mais fidedignos aos esperados e definidos com as variações dos termos utilizados. Uma outra dificuldade foi a não disponibilização de alguns estudos nas máquinas de busca comuns, principalmente a IEEE e ACM e aqueles que apresentaram links indisponíveis, o que fez com que tais fossem buscados em outros mecanismos ou descartados (vide critérios de exclusão - Seção B.2.3).

B.8 Conclusões

Mapeamentos sistemáticos permite que uma determinada área de pesquisa seja averiguada e analisada quanto a como a condução de estudos estão sendo realizados, quais os contextos que estão inseridos, e também pontos em potencial que podem ser explorados (Kitchenham et al., 2011; Petersen et al., 2008).

O mapeamento conduzido apresentou quantidade relevante de estudos, 150 estudos primários, desconsiderando os repetidos. No entanto, para atender ao escopo deste mapeamento apenas 7 passaram pelos critérios de seleção e exclusão, na primeira etapa de seleção.

Na segunda etapa, estes 7 estudos foram lidos na íntegra levando a exclusão de todas as propostas selecionadas. 2 dos trabalhos, foram selecionados por contribuir indiretamente com as validações experimentais visadas, sendo classificados e resumidos.

Assim, foram tecidas algumas considerações relevantes, quanto a inexistência de resultados significativos deste mapeamento:

- A inexistência de validações experimentais para abordagens baseadas em UML dificultam a possibilidade de adoção destas, e dificultam a obtenção de evidências que indiquem se o que é proposto é realmente efetivo. Além disso, não é possível efetuar comparações empíricas de estudo empíricos e seu resultados, uma vez que não há estudos correspondentes;
- Por outro lado, a inexistência de tais abordagens apresentam uma lacuna em potencial a ser explorada, o que justifica a necessidade de buscar evidências por meio de estudos experimentais.

Assim, propor validações empíricas, não apenas para o domínio aqui aplicado, é uma necessidade que propostas que possuem intenção de serem inseridas na indústria, e melhor aceitas na comunidade acadêmica, devem passar. A lacuna apresentada por meio deste mapeamento pode refletir ainda, a imaturidade com que a Engenharia de Software Experimental se encontra, porém é somente por meio de tentativas de ampliar a gama de estudos empíricos que sua evolução ocorrerá.

Logo, os resultados e conclusões apresentadas justificam a proposta de validação de abordagens de gerenciamento de variabilidade baseadas em UML.