

Avaliação Sistemática de Arquitetura de Linha de Produto de Software

Edson A. Oliveira Junior, Itana M. S. Gimenes

*Informatics Department – State University of Maringá
Maringá-PR, Brazil
edson@edsonjr.pro.br, itana@din.uem.br*

José C. Maldonado

*Computing Systems Department – University of São Paulo
São Carlos-SP, Brazil
jcmaldon@icmc.usp.br*

Resumo

A abordagem de linha de produto de software (LP) tem como objetivo principal promover a geração de produtos específicos com base no reuso de um núcleo de artefatos. Um dos principais artefatos de tal núcleo é a Arquitetura de LP (ALP), que representa a abstração de todas as arquiteturas de sistemas individuais para um domínio específico. Avaliações de ALP são uma forma de alcançar a qualidade da ALP e aumentar a produtividade de uma LP, além de poderem ser usadas como parâmetro para a avaliação de qualidade geral de LP e retorno de investimento esperado. Este artigo apresenta um método sistemático para avaliação de ALP que considera modelos de ALP em UML e é composto por diretrizes e métricas que guiam o usuário em como avaliar uma ALP. Um exemplo de como aplicar o método à uma LP é apresentado e os resultados são discutidos.

The software product line (SPL) approach aims at promoting the generation of specific products based on the reusing of its core assets. One of its main artifacts is the architecture (PLA) which represents the abstraction of all possible single software architectures from a specific domain. PLA evaluations represent a means to analyze the overall SPL quality and increase the SPL production capability, as well as they can be used as a parameter to the overall evaluation of a SPL and respective return on investment. This paper presents a systematic method for PLA evaluation taking into account PLA UML models. Such a method is composed of a set of guidelines and metrics which guide stakeholders on how to perform PLA evaluations. An example of how to apply such a method to a SPL is presented, as well as its results are discussed.

Keywords: Análise de Trade-Off, Avaliação de Arquitetura de Linha de Produto, Cenários, Diretrizes, Métricas, Priorização de Atributos de Qualidade.

1 Introdução

Uma linha de produto de software (LP) representa um conjunto de sistemas que compartilham características comuns que satisfazem as necessidades de um mercado ou seguimento [14]. Segundo o *Hall of Fame*¹, uma LP é uma forma eficiente e consolidada de reutilização de artefatos e geração de diversos produtos semelhantes. Além disso, LPs são compatíveis com as metas e padrões de qualidade de software como, por exemplo, CMMI (*Capability Maturity Model Integration*) [5].

Os benefícios obtidos com a abordagem de LP incluem [7]: melhor compreensão dos domínios, mais artefatos reusáveis e menos tempo para o produto chegar ao mercado. Casos de sucesso na adoção de LP por várias organizações têm sido reportados na literatura, incluindo: Philips, Bosch, Nokia e Toshiba [7]. Tais benefícios podem ser melhor compreendidos e alcançados por meio de avaliações de LP e dos seus principais artefatos. O mais importante desses artefatos é a Arquitetura de LP (ALP), pois é uma abstração de todas as possíveis arquiteturas individuais dos produtos de uma LP. Além disso, avaliações de ALP podem ser usadas como parâmetro para avaliações de qualidade de uma LP e o retorno de investimento (ROI) associado, além de contribuir para a adoção e aplicação de modelos de custos [9]. Ao avaliar uma ALP, o arquiteto de LP pode analisar seus atributos de qualidade e priorizá-los com o objetivo de reduzir o esforço de manutenção de LP e sua evolução. O gerente de LP pode utilizar uma avaliação de ALP como uma forma de identificar riscos associados à LP, amenizá-los e justificar o retorno de investimento esperado.

Para avaliar uma ALP é necessário definir metas de negócio e relacioná-las aos seus atributos de qualidade [3]. Além disso, métricas devem ser definidas para que se possa coletar dados sobre os potenciais produtos de uma LP, interpretá-los e permitir que análises de *trade-off* possam ser realizadas com relação aos atributos de qualidade da ALP [8]. As metas de negócio, atributos de qualidade e métricas devem considerar as variabilidades existentes na ALP. Para tanto, uma representação apropriada para as variabilidades deve ser considerada. Dentre as várias abordagens para representar variabilidade em LP existentes na literatura, UML é uma das mais amplamente consideradas. Assim, modelos UML de uma LP são marcados com estereótipos específicos para representar variabilidade [4,12]. Por meio da avaliação de uma ALP é possível ajustar o desenvolvimento e evolução dos produtos de uma LP de acordo com as metas de negócio previamente estabelecidas. Avaliações de ALP também podem ser vistas como uma forma de estabelecer valores limites para métricas específicas de ALP e de produtos para um determinado domínio.

De forma geral, a avaliação de ALP é vista pelo gerente de LP e, especial-

¹ http://www.sei.cmu.edu/productlines/plp_hof.html

mente, pelo arquiteto de LP como uma ferramenta para ajustar a ALP com base nas suas metas de negócio, visando aumentar a qualidade dos produtos desenvolvidos, prever os produtos gerados e justificar o retorno de investimento com relação à abordagem de LP.

Este artigo apresenta a proposta de um método de avaliação de ALP denominado *System-PLA*, composto por um metaprocesso de avaliação, um conjunto de diretrizes que guiam a realização das atividades do metaprocesso e um conjunto de métricas de apoio à avaliação de ALP. *System-PLA* difere dos trabalhos existentes por fornecer uma forma sistemática de definir os artefatos necessários para uma avaliação de ALP considerando as metas de negócio da LP, atributos de qualidade da ALP, cenários que exercitam as variabilidades da ALP e métricas para a priorização dos atributos por meio da realização de análise de *trade-off*, o que permite tanto análises quantitativas como qualitativas sobre uma ALP.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: a Seção 2 introduz o método *System-PLA* para avaliação de ALP, bem como suas fases e diretrizes; a Seção 3 apresenta um exemplo de como realizar uma análise de *trade-off* com base no método *System-PLA*, ilustrada com a LP *Arcade Game Maker* (AGM) do SEI; e a Seção 4 apresenta as conclusões.

2 O Método *System-PLA*

Systematic Evaluation Method for UML-based Software Product Line Architectures (*System-PLA*) é um método de avaliação de ALP baseada em UML. Tal avaliação considera as variabilidades, identificadas e representadas em modelos UML de uma LP.

O método *System-PLA* tem sua fundamentação nos princípios dos seguintes métodos:

- **ATAM** (*Architecture Trade-off Analysis Method*) [3], herda a definição das metas de negócio (*business drivers*), a priorização de atributos de qualidade e o *template* para a escrita de um relatório ao final de cada avaliação;
- **HoPLSAA** (*Holistic Product Line Software Architecture Assessment*) [13], herda a forma como as variabilidades de uma LP se relacionam com os atributos de qualidade, permitindo assim, que decisões arquiteturais sejam tomadas por meio de análises de *trade-off* dos atributos de qualidade de uma ALP;
- **EATAM** (*Extended ATAM*) [6], herda diretrizes de como criar cenários de variabilidade, para a geração de pontos de variação relacionados aos atributos de qualidade. Além disso, o EATAM apresenta e justifica a importância de alguns atributos de qualidade como, por exemplo, com-

plexidade e extensibilidade, usados para mostrar como definir metas de negócio, cenários, questões gerenciais e técnicas e métricas segundo o método *SystEM-PLA*, além de ilustrar análises de *trade-off*; e

- **GQM (Goal-Question-Metric)** [1], herda a forma como se relacionam as metas de negócio (*goal*), as questões (*question*) gerenciais e técnicas e as métricas (*metric*) de atributos de qualidade.

O método *SystEM-PLA* analisa atributos de qualidade para validar as metas de negócio definidas para uma ALP, bem como, a acurácia das variabilidades modeladas para um certo domínio. Além disso, o método pode ser usado como uma forma de verificar alternativas de projeto, fornecendo assim, apoio para a tomada de decisões e análise de *trade-off* que afetam os produtos a serem produzidos por uma LP. O método é considerado parte das atividades de desenvolvimento de LP e possui três fases distintas (Seção 2.1): Planejamento, Coleta de Dados e Análise de Dados e Documentação. Basicamente, o *SystEM-PLA* deve instanciar o Metaproceto de Avaliação (MPA) (Seção 2.2) e definir os artefatos necessários. Em seguida, deve-se coletar as métricas definidas pelo *SystEM-PLA*. Por fim, os dados coletados são analisados e documentados.

O *SystEM-PLA* fornece um conjunto de diretrizes (Seção 2.3) que serve para guiar sistematicamente o usuário na realização das atividades de cada uma de suas fases. Também fornece um conjunto predefinido, porém extensível, de métricas básicas [10] para avaliação de ALP. Esse conjunto serve para apoiar os usuários do método, na composição de métricas para atributos de qualidade e para encorajar os usuários a compartilhar novas métricas, por meio de um repositório de artefatos do método.

A Figura 1 representa graficamente o *SystEM-PLA* relacionando suas fases, diretrizes, artefatos e interações via fluxos de informação e de dados. As interações entre as fases do *SystEM-PLA* e o repositório de artefatos permitem o rastreamento e empacotamento dos dados gerados durante uma avaliação de ALP e suas possíveis replicações.

2.1 Fases do Método *SystEM-PLA*

2.1.1 Planejamento

A fase de **Planejamento** tem como objetivo instanciar o MPA e realizar as suas atividades para estabelecer os artefatos utilizados durante uma avaliação de ALP. É essencial para a realização de uma avaliação de ALP, uma vez que os artefatos e técnicas/estratégias necessárias para tal são definidas.

Esta fase possui como pré-condições:

- a existência de um **modelo de características** de uma LP; e
- **modelos de LP** especificados em UML, por exemplo, os modelos de casos

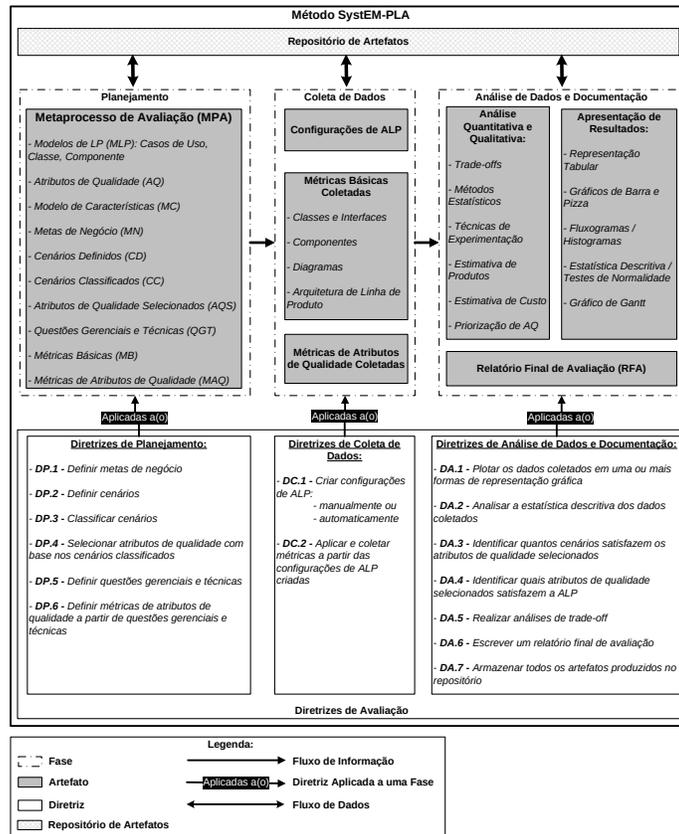


Figura 1. Representação Gráfica do Método *System-PLA* Contendo suas Fases, Diretrizes e Artefatos.

de uso, classes e componentes.

Esta fase possui como pós-condições o **MPA instanciado** e os seus **artefatos definidos**.

2.1.2 Coleta de Dados

Esta fase permite a aplicação de métricas para modelos UML aos artefatos estabelecidos pelo MPA. Fornece indicadores quantitativos e qualitativos para que o usuário possa articular a melhor forma de interpretar os dados coletados na fase seguinte.

Assim, basicamente, esta fase consiste em:

- gerar configurações de ALP, de forma manual ou automatizada, usando, por exemplo, um gerador de aplicações como o *Captor*² ou uma ferramenta de gerenciamento de variantes como a *pure::variants*³; e

² <http://code.google.com/p/captor>

³ http://www.pure-systems.com/pure_variants.49.0.html

- aplicar e coletar as métricas básicas e métricas de atributos de qualidade às configurações geradas.

Esta atividade possui como pré-condição o **MPA instanciado** e os seus **artefatos estabelecidos** para conduzir uma avaliação de ALP e, como pós-condições, as **configurações de ALP geradas** e as **métricas básicas e de atributos de qualidade coletadas**.

2.1.3 *Análise de Dados e Documentação*

Esta fase permite interpretar os dados coletados tanto quantitativamente quanto qualitativamente, fornecendo respaldo com relação à ALP e seus atributos de qualidade avaliados. Assim, um ou mais relatórios são escritos para documentar a avaliação realizada, bem como, para permitir que a avaliação possa ser replicada. Além disso, representação tabular, gráficos de barra e pizza, fluxogramas/histogramas, estatística descritiva e *boxplots* podem ser usados para melhorar a apresentação dos resultados da avaliação. O gráfico de *Gantt* pode ser usado para planejar futuras replicações de uma avaliação.

2.2 *Metaprocesso de Avaliação (MPA)*

O MPA tem como objetivo definir os artefatos que permitem a avaliação de uma ALP, bem como:

- a seleção de atributos de qualidade de uma ALP, para que análises de *trade-off* possam ser realizadas;
- a definição de questões gerenciais e técnicas a serem respondidas com relação aos atributos de qualidade selecionados; e
- a definição de métricas de atributos de qualidade para apoiar as fases de coleta e análise de dados, além de fornecer indicadores quantitativos sobre a ALP.

O MPA possui como entrada os Modelos UML de LP, o Modelo de Características de uma LP e os Atributos de Qualidade inicialmente definidos para uma ALP, conforme ilustra a Figura 2.

Os artefatos definidos pelo MPA e as suas descrições são apresentadas a seguir:

- **Metas de Negócio (MN):** representam os objetivos de negócio que uma ALP deve atingir, com base nos seus atributos de qualidade de uma ALP;
- **Cenários Definidos (CD):** um conjunto de cenários é definido para cada atributo de qualidade de uma ALP, com o objetivo de apoiar a seleção dos atributos de qualidade para a avaliação de uma ALP;
- **Cenários Classificados (CC):** os cenários definidos são classificados com base em fatores importantes para a ALP, como importância e número de

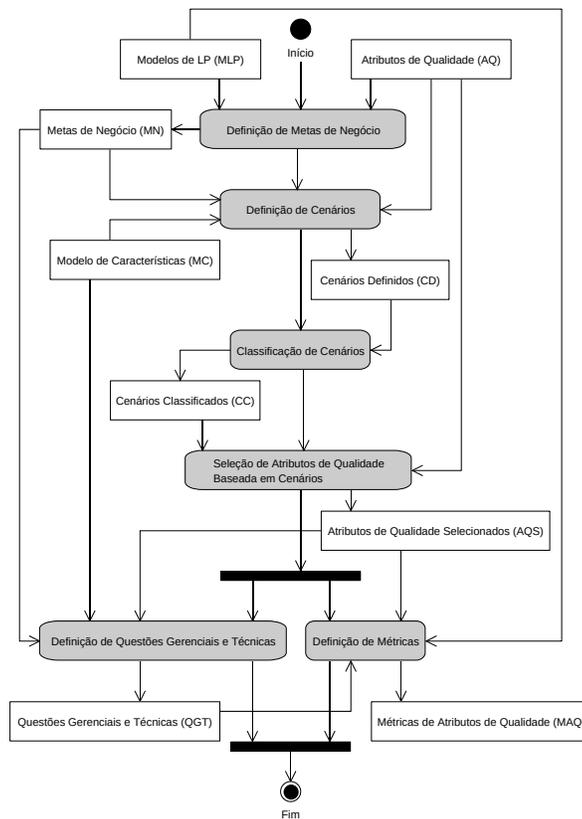


Figura 2. Atividades do Metaprocesso de Avaliação.

variabilidades;

- **Atributos de Qualidade Selecionados (AQS):** é um subconjunto não-vazio do conjunto de Atributos de Qualidade para os quais questões gerenciais e técnicas, bem como, métricas são definidas, para que análises de *trade-off* possam ser realizadas;
- **Questões Gerenciais e Técnicas (QGT):** são as questões que devem ser respondidas segundo as perspectivas gerencial e técnica, visando analisar uma ALP e apoiar a definição de métricas para análises quantitativas; e
- **Métricas de Atributos de Qualidade (MAQ):** são as métricas que devem ser definidas para apoiar a priorização de atributos de qualidade para uma ALP.

Uma descrição de cada atividade do MPA e suas respectivas entradas e saídas é apresentada a seguir.

A **Definição de Metas de Negócio** possui como entrada os Modelos de LP e os Atributos de Qualidade de uma ALP, usados na definição das Metas de Negócio que uma ALP deve alcançar no desenvolvimento de seus produtos.

As metas de negócio apoiam a definição de cenários e questões gerenciais e técnicas. Apesar da atividade de definição de metas de negócio estar baseada no método ATAM, ela considera as metas de negócio da ALP em vez das metas de arquiteturas de produtos únicos e, conseqüentemente, exige o uso das variabilidades modeladas em uma LP.

A **Definição de Cenários** possui como entrada as Metas de Negócio, o Modelo de Características da LP e os atributos de qualidade de uma ALP. Esta atividade estabelece os cenários para cada atributo de qualidade de uma ALP, com o objetivo de apoiar a atividade de seleção de tais atributos.

A **Classificação de Cenários** possui como entrada os Cenários Definidos e tem como objetivo classificá-los, de acordo com fatores importantes relacionados à ALP. Esta atividade gera como saída os Cenários Classificados.

A **Seleção de Atributos Baseada em Cenários** possui como entrada os Atributos de Qualidade de uma ALP e seus Cenários Classificados e tem como objetivo selecionar os atributos de qualidade que serão analisados para uma certa ALP. As saídas desta atividade são os Atributos de Qualidade Selecionados que formam um subconjunto dos Atributos de Qualidade de uma ALP.

A **Definição de Questões Gerenciais e Técnicas** possui como entrada as Metas de Negócio, o Modelo de Características de uma LP e os Atributos de Qualidade Selecionados de uma ALP. Esta atividade define Questões Gerenciais e Técnicas (QGT), que devem ser respondidas com base na definição de métricas, para apoiar a coleta e a análise de dados e documentação. Tais questões são definidas e consideram os papéis envolvidos no processo de desenvolvimento de LP como descrito por [2].

A **Definição de Métricas** define métricas para serem aplicadas aos modelos UML da ALP. As métricas coletadas permitem análises quantitativas, além de fornecerem indícios para análises qualitativas.

2.3 Diretrizes de Avaliação

A realização de cada fase do *System-PLA* é guiada por um conjunto de diretrizes, apresentadas a seguir.

2.3.1 Diretrizes de Planejamento (DP)

As Diretrizes de Planejamento (DP) visam estabelecer os artefatos necessários para conduzir a avaliação de uma ALP. Assim, os itens a seguir apresentam tais diretrizes:

- DP.1 **Definir metas de negócio:** a definição de metas de negócio contribuem para a priorização dos atributos de qualidade;
- DP.2 **Definir cenários:** definição de cenários para cada atributo de qualidade

da ALP;

- DP.3 **Classificar cenários:** classificar cada cenário como sendo Alto (A), Médio (M) ou Baixo (B), considerando cada um dos seguintes atributos de interesse:
- a sua **importância** geral para a ALP e as suas metas de negócio;
 - a **generalidade** do cenário com relação à ALP. O cenário deve ser classificado como obrigatório (Alto), alternativo (Médio) ou opcional (Baixo) como descrito por [13];
 - o seu **custo/risco**, ou seja, o esforço envolvido para fornecer respostas aos cenários, bem como seu risco percebido; e
 - o **número de variabilidades** contido em cada cenário.
- DP.4 **Selecionar atributos de qualidade com base nos cenários classificados:** recomenda-se adotar um sistema de votação, como o do método ATAM [3], ou semelhante; e
- DP.5 **Definir questões gerenciais e técnicas:** definir questões com base nas metas de negócio, no modelo de características e nos atributos de qualidade selecionados. Para tanto, recomenda-se fortemente o uso do método GQM por causa de sua maturidade e consolidação.
- DP.6 **Definir métricas:** definir métricas para os atributos de qualidade considerando métricas básicas [10] para modelos UML de ALP e nas questões gerenciais e técnicas propostas.

2.3.2 Diretrizes de Coleta de Dados (DC)

Uma configuração de ALP, ou simplesmente configuração, é uma instância da ALP que representa uma arquitetura de produto individuais na qual, a maioria das suas variabilidades está resolvida. Assim, o usuário pode realizar análises de *trade-off* de ALP com respeito aos seus produtos e aos seus atributos de qualidade.

Os seguintes itens apresentam as diretrizes para a coleta de dados (DC):

- DC.1 **Criar configurações de ALP:** pode ser realizada de forma manual ou automática; e
- DC.2 **Aplicar e coletar métricas a partir das configurações de ALP:** calculam-se as métricas de atributos de qualidade aplicadas às configurações de ALP criadas.

2.3.3 Diretrizes de Análise de Dados e Documentação (DA)

A análise de dados é realizada com base nos artefatos produzidos e nos dados coletados em fases anteriores do *SystEM-PLA*. Os próximos itens apresentam as diretrizes para análise de dados e documentação (DA):

- DA.1 **Plotar os dados coletados em uma ou mais formas de representação gráfica:** exemplos de representações gráficas possíveis: estatística descritiva e gráficos de distribuição de frequência; gráficos em barra e pizza; e histograma de dispersão;
- DA.2 **Analisar a estatística descritiva dos dados coletados;**
- DA.3 **Identificar quantos cenários satisfazem os atributos de qualidade selecionados:** com base na análise realizada sobre as estatísticas descritivas dos dados coletados, identificam-se quais cenários satisfazem os atributos de qualidade selecionados;
- DA.4 **Identificar qual(is) atributo(s) de qualidade selecionado(s) satisfaz(em) a ALP;**
- DA.5 **Realizar análise(s) de *trade-off*:** leva em consideração os atributos selecionados que satisfazem a ALP, para decidir qual(is) deve(m) ser priorizado(s) para o desenvolvimento e evolução dos produtos de uma LP;
- DA.6 **Escrever um relatório final de avaliação:** os dados coletados e os gráficos e tabelas geradas são documentadas na forma de um relatório no estilo ATAM [3]; e
- DA.7 **Armazenar todos os artefatos produzidos no repositório.**

3 Exemplo de Análise de *Trade-Off* com o Método *SystEM-PLA*

Os itens a seguir apresentam um exemplo de como realizar uma análise de *trade-off* por meio da aplicação das diretrizes do método *SystEM-PLA*, levando em consideração a LP *Arcade Game Maker* (AGM) [15]. Para este exemplo são considerados os atributos de qualidade complexidade e extensibilidade.

3.1 Diretrizes de Planejamento (DP)

- DP.1 **Definir metas de negócio.** Duas metas de negócio foram definidas para a AGM: MN.1 (Tabela 1a), que se concentra em manter baixa manutenibilidade e custos focando em complexidade, enquanto MN.2 (Tabela 1b), está concentrada em manter altas taxas de reuso focando em extensibilidade.
- DP.2 **Definir cenários.** As Tabelas 1a e 1b apresentam possíveis cenários para a AGM.
- DP.3 **Classificar cenários.** A Tabela 2 apresenta uma possível classificação dos cenários de complexidade e extensibilidade para a AGM.
- DP.4 **Selecionar atributos de qualidade com base nos cenários classi-**

Tabela 1
Cenários Definidos para a AGM.

(a) Cenários de Complexidade. (b) Cenários de Extensibilidade.

AGM - Árvore de Utilidade de Atributos de Qualidade			AGM - Árvore de Utilidade de Atributos de Qualidade		
Atributo de Qualidade	Complexidade		Atributo de Qualidade	Extensibilidade	
Características Relacionadas	services, rules, actions		Características Relacionadas	services, rules, actions	
Metas de Negócio Relacionadas	MN.1: manter o grau de complexidade de jogo abaixo de 0,7 (70%), comparado à complexidade da ALP, para pelo menos 50% dos produtos produzidos		Metas de Negócio Relacionadas	MN.2: manter o grau de extensibilidade de jogo acima de 0,75 (75%), comparado à extensibilidade da ALP, para pelo menos 50% dos produtos produzidos	
Cenários	Cn.1	Pontos de variação e/ou variantes são adicionadas, modificadas ou removidas mantendo a MN.1 verdadeira.	Cenários	Cn.4	Pontos de variação e/ou variantes são adicionadas, modificadas ou removidas mantendo a MN.2 verdadeira.
	Cn.2	50% das variabilidades são removidas mantendo a MN.1 verdadeira.		Cn.5	50% das variabilidades são removidas mantendo a MN.2 verdadeira.
	Cn.3	Ambientes com um jogo possuem valores de complexidade no máximo 0,65 (65%) comparado à complexidade da ALP.		Cn.6	Ambientes com 2 jogos possuem valores de extensibilidade no mínimo 0,8 (80%) comparado à extensibilidade da ALP.

Tabela 2
Classificação dos Cenários de Complexidade e Extensibilidade.

Metas de Negócio		MN.1			MN.2		
Atributos de Qualidade		Complexidade			Extensibilidade		
Cenários		Cn.1	Cn.2	Cn.3	Cn.4	Cn.5	Cn.6
Importância Geral	A	X		X	X	X	X
	M		X				
	B						
Generalidade	A	X			X		
	M		X			X	
	B			X			X
Custo/Risco	A		X			X	
	M	X			X		
	B			X			X
Número de Variabilidades	A	X	X		X	X	X
	M			X			
	B						

ficados. Pode-se definir uma estratégia própria para selecionar os atributos de qualidade a serem avaliados. Para a AGM foram selecionados os cenários de acordo com as seguintes análises:

- os cenários Cn.1, Cn.4 e Cn.5 possuem alto número de variabilidade e importância geral para a ALP. Tais cenários são obrigatórios com médio custo/risco;
- o cenário Cn.6 também possui a mesma classificação para o número de variabilidades e importância geral, bem como baixo custo/risco e opcional;
- o cenário Cn.2 possui um alto número de variabilidades e custo/risco para a AGM. Possui média importância geral para a ALP, sendo alternativo; e
- o cenário Cn.3 é alternativo e possui alta importância para a AGM. Possui também um baixo custo/risco e número de variabilidades.

Assim, os cenários AGM classificados são: Cn.1, Cn.4, Cn.5, Cn.6, Cn.2 e Cn.3. Os cenários Cn.1, Cn.4 e Cn.5 são os mais importantes para a

AGM. O cenário Cn.1 está relacionado à meta de negócio MN.1, enquanto Cn.4 e Cn.5 estão relacionados à MN.2. Portanto, foi decidido selecionar ambos os atributos de qualidade complexidade e extensibilidade. Note que não se faz necessário selecionar todos os atributos de qualidade em uma avaliação. Quanto mais atributos de qualidade são selecionados, mais complexa se torna a análise de *trade-off*.

DP.5 **Definir questões gerenciais e técnicas.** A Tabela 3 apresenta as questões definidas para a AGM.

Tabela 3
Questões Definidas para a AGM.

Meta de Negócio / Característica / AQ Selecionado (Metas)	Questões	
MN.1 (meta de negócio)	Q.01	Qual a complexidade de uma classe/interface em um modelo de classes?
	Q.02	Qual a complexidade de uma classe/interface que é um ponto de variação em um modelo de classes?
	Q.03	Qual a complexidade de uma classe/interface que é uma variabilidade em um modelo de classes?
	Q.04	Qual a complexidade de um componente variável em um modelo de componentes?
	Q.05	Qual a complexidade de uma ALP com base em seu(s) modelo(s) de classes?
	Q.06	Qual a extensibilidade de uma classe/interface em um modelo de classes?
MN.2 (meta de negócio)	Q.07	Qual a extensibilidade de uma classe/interface que é um ponto de variação em um modelo de classes?
	Q.08	Qual a extensibilidade de uma classe/interface que é uma variabilidade em um modelo de classes?
	Q.09	Qual a extensibilidade de um componente variável em um modelo de componentes?
	Q.10	Qual a extensibilidade de uma ALP baseada em seu(s) modelo(s) de classes?

DP.6 **Definir métricas.** Métricas para complexidade (CompPLA) e extensibilidade (ExtensPLA) foram propostas e validadas teórica e empiricamente em Oliveira Junior et al. [11]. Tais métricas foram aplicadas e coletadas neste exemplo.

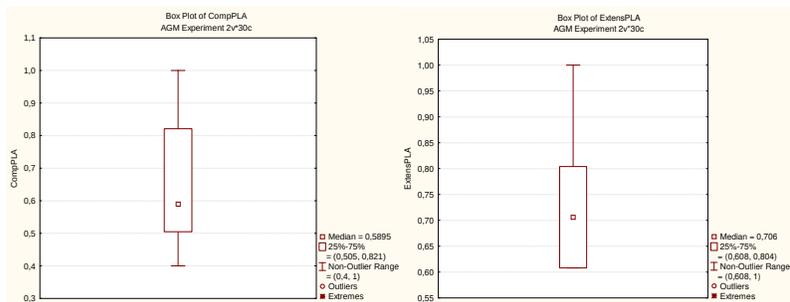
3.2 Diretrizes de Coleta de Dados (DC)

DC.1 **Criar configurações de ALP.** 30 configurações AGM foram geradas durante o experimento de validação das métricas de Complexidade e Extensibilidade realizado em Oliveira Junior et al. [11]. Tais configurações foram usadas para ilustrar este exemplo.

DC.2 **Aplicar e coletar métricas a partir das configurações de ALP.** As métricas CompPLA e ExtensPLA foram aplicadas às 30 configurações da AGM.

3.3 Diretrizes de Análise de Dados e Documentação (DA)

DA.1 **Plotar os dados coletados em uma ou mais formas de representação gráfica.** Os dados coletados foram apresentados na forma de *boxplots* (Figura 3) e em um histograma de dispersão (Figura 4).



(a) *Boxplot* de CompPLA. (b) *Boxplot* de ExtensPLA.

Figura 3. *Boxplots* para os Dados Coletados.

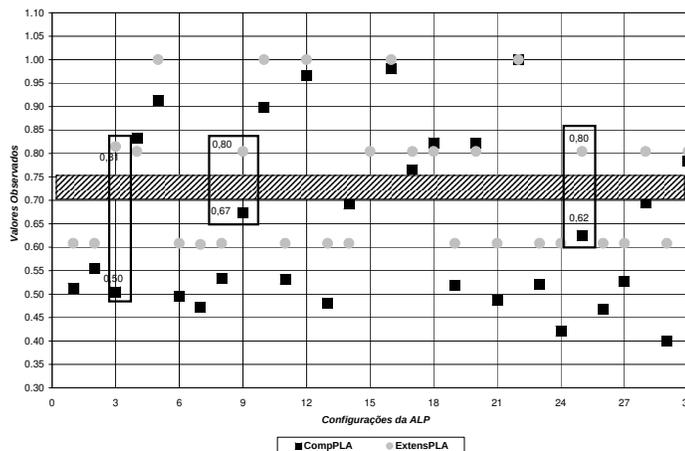


Figura 4. Histograma de Dispersão dos Valores Observados nas Configurações AGM para CompPLA e ExtensPLA.

DA.2 **Analisar a estatística descritiva dos dados coletados.** Para o exemplo da AGM pode-se observar que:

- **Análise Nro. 1:** na Figura 3a, o valor da mediana é 0,5895. Isso significa que:
 - 15 (50%) configurações possuem valores de CompPLA menores que 0,5895; e
 - 15 (50%) configurações possuem valores de CompPLA maiores que 0,5895.
- **Análise Nro. 2:** na Figura 3b, o valor da mediana é 0,7060. Isso significa que:
 - 15 (50%) configurações possuem valores de ExtensPLA menores que 0,7060; e
 - 15 (50%) configurações possuem valores de ExtensPLA maiores que 0,7060.

DA.3 **Identificar quantos cenários satisfazem os atributos de qualidade**

selecionados. Com base nas análises realizadas sobre a estatística descritiva dos dados coletados, é possível identificar quais cenários declarados previamente satisfazem os atributos de qualidade selecionados da ALP. Isso é essencial para verificar se tais cenários são apropriados aos atributos de qualidade ou se é necessário modificá-los. Recomenda-se que pelo menos 50% dos cenários satisfaçam os respectivos atributos de qualidade selecionados. Caso contrário, os cenários não irão fornecer uma forma confiável de realizar análises de *trade-off*. Para a AGM, a criação dos produtos exercita os cenários Cn.1, para complexidade, e Cn.4 e Cn.5, para extensibilidade. Assim, pode-se dizer que:

- **baseado na Análise Nro. 1**, o cenário Cn.1 (Tabela 1a) é satisfeito para o atributo de qualidade complexidade. Durante a criação das configurações AGM, pontos de variação e variantes foram modificados ou removidos de acordo com o tipo de produto criado. Assim, o cenário Cn.1 mantém a MN.1 verdadeira, já que 18 das 30 configurações ($18/30 \cdot 100 = 60\%$) possuem valores de CompPLA menores que 0,70 (Figura 3a).
- **baseado na Análise Nro. 2**, os cenários Cn.4 e Cn.5 (Tabela 1b) são satisfeitos para o atributo de qualidade extensibilidade. Durante a criação das configurações AGM, pontos de variação e variantes foram modificados ou removidos de acordo com o tipo de produto criado. Assim, os cenários Cn.4 e Cn.5 mantêm a MN.2 verdadeira, já que 15 das 30 configurações ($15/30 \cdot 100 = 50\%$) possuem valores de ExtensPLA maiores que 0,75 (Figura 3b).

DA.4 **Identificar qual(is) atributo(s) de qualidade selecionado(s) satisfaz(em) a ALP.** Para a AGM, ambos os atributos de qualidade, complexidade e extensibilidade, satisfazem a ALP da AGM, já que 100% de seus cenários são satisfeitos.

DA.5 **Realizar análise(s) de *trade-off*.** Para a AGM, essa análise foi realizada plotando os valores observados de CompPLA e ExtensPLA em um diagrama de dispersão (Figura 4). Pode-se observar que nessa figura os produtos mais interessantes são aqueles que possuem valores de $\text{CompPLA} < 0,7$ e $\text{ExtensPLA} > 0,75$. Assim, os três produtos mais interessantes para a AGM são: (i) $\text{CompPLA}=0,50$ e $\text{ExtensPLA}=0,81$; (ii) $\text{CompPLA}=0,67$ e $\text{ExtensPLA}=0,80$; e $\text{CompPLA}=0,62$ e $\text{ExtensPLA}=0,80$. Note que o valor de ExtensPLA para os três produtos é praticamente o mesmo (0,80), o que pode ser um indicador de que para produtos similares deve-se priorizar complexidade em vez de extensibilidade. Outro indicador pode ser o fato de que 60% dos produtos gerados satisfazem o cenário de complexidade Cn.1, enquanto 50% dos produtos AGM satisfazem os cenários de extensibilidade Cn.4 e Cn.5. Pode-se concluir, baseado em tais indicadores, que para a AGM, complexidade deve

ser priorizada para o desenvolvimento dos produtos e evolução da ALP.

As atividades de escrita de relatório final de avaliação (diretriz DA.6) e de armazenamento dos artefatos produzidos em uma avaliação em repositório (diretriz DA.7) não são apresentadas neste exemplo.

4 Conclusões

Este artigo apresentou a proposta do método *SystEM-PLA* para a avaliação de qualidade de ALP baseada em UML. O método é composto por um metaprocesso, diretrizes e métricas básicas de modelos UML e de atributos de qualidade. Um exemplo de análise de *trade-off* com base no método *SystEM-PLA* foi apresentado, mostrando como é possível verificar a qualidade de uma LP por meio da priorização de atributos de qualidade de ALP utilizando diretrizes e métricas propostas para tal.

O método *SystEM-PLA* fornece uma forma de avaliar a qualidade de uma ALP por meio das suas possíveis configurações, usando tal avaliação como um parâmetro para medir a qualidade geral da LP. O MPA, juntamente com as diretrizes de avaliação e as métricas fornecidas, permite que as metas de negócio e os atributos de qualidade de uma ALP sejam analisados de um ponto de vista qualitativo e quantitativo.

Um dos grandes desafios na avaliação de uma ALP é a complexidade inerente de se avaliar todas as possíveis arquiteturas dos produtos individuais que uma LP é capaz de gerar. Além disso, grande parte das abordagens existentes para o desenvolvimento de LP não se baseiam em notações consolidadas como, por exemplo, a UML, para estabelecer e representar as variabilidades de uma LP. Outro fator que dificulta a realização de avaliações de ALP é a falta de métricas que permitam analisar quantitativa e experimentalmente uma ALP.

O método *SystEM-PLA* está, atualmente, limitado a concentrar-se na avaliação de ALP baseada em UML, não considerando outras abordagens de desenvolvimento de software como orientação a aspectos e *Model-Driven Development* (MDE). O método *SystEM-PLA* limita-se a tomar como entrada modelos UML de casos de uso, classes e componentes. Porém, sabe-se da necessidade de representação em outros modelos UML como diagramas de interação e diagramas de atividades.

Um dos grandes benefícios na adoção e utilização do método *SystEM-PLA* é a sua compatibilidade com padrões de qualidade de software. À medida que organizações podem ajustar as suas ALPs de acordo com metas de negócio previamente estabelecidas, é possível avaliar a qualidade dos artefatos de uma LP, bem como da qualidade geral da LP. Dessa forma, modificações mínimas são necessárias no processo de avaliação de qualidade em uma organização, para permitir a efetiva adoção do *SystEM-PLA* e a sua utilização na avaliação

de qualidade de ALPs.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] Basili, V. and H. Rombach, *The TAME Project: Towards Improvement-Oriented Software Environments*, IEEE Transactions on Software Engineering **14** (1988), pp. 758–773.
- [2] Chastek, G. and R. Ferguson, *Toward Measures for Software Architectures*, SEI Technical Note CMU/SEI-2006-TN-013, Software Engineering Institute (SEI), Pittsburgh, USA (2006). URL <http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/06.reports/pdf/06tn013.pdf>
- [3] Clements, P., R. Kazman and M. Klein, “Evaluating Software Architectures: Methods and Case Studies,” Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 2002.
- [4] Gomaa, H., “Designing Software Product Lines with UML: from Use Cases to Pattern-based Software Architectures,” Addison-Wesley, Boston, MA, USA, 2005.
- [5] Jones, L. G. and L. Northrop, *Product Line Adoption in a CMMI Environment*, Technical Report CMU/SEI-2005-TN-028, Software Engineering Institute (2005).
- [6] Kim, T., I. Y. Ko, S. W. Kang and D. H. Lee, *Extending ATAM to Assess Product Line Architecture*, in: *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer and Information Technology* (2008), pp. 790–797.
- [7] Linden, F. J. v. d., K. Schmid and E. Rommes, “Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering,” Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2007.
- [8] Lopez-herrejon, R. E. and S. Trujillo, *How Complex is My Product Line? The Case for Variation Point Metrics*, in: *Variability Modelling of Software-Intensive Systems*, 2008, pp. 97–100.
- [9] Nobrega, J., E. Almeida and S. Meira, *InCoME: Integrated Cost Model for Product Line Engineering*, in: *Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications*, 2008, pp. 27–34.
- [10] Oliveira Junior, E. A., I. M. S. Gimenes and J. C. Maldonado, *A Metric Suite to Support Software Product Line Architecture Evaluation*, in: *Proceedings of the Conferencia Latinoamericana de Informática*, Santa Fé, Argentina, 2008, pp. 489–498.
- [11] Oliveira Junior, E. A., I. M. S. Gimenes and J. C. Maldonado, *Empirical Validation of Complexity and Extensibility Metrics for Software Product Line Architectures*, in: *2010 Fourth Brazilian Symposium on Software Components, Architectures, and Reuse* (2010), pp. 31–40.
- [12] Oliveira Junior, E. A., I. M. S. Gimenes and J. C. Maldonado, *Systematic Management of Variability in UML-based Software Product Lines*, Journal of Universal Computer Science (J.UCS) **16** (2010), pp. 2374–2393.
- [13] Olumofin, F., “A Holistic Method for Assessing Software Product Line Architectures,” VDM Verlag, Saarbrücken, Germany, Germany, 2007.
- [14] Pohl, K., G. Böckle and F. J. v. d. Linden, “Software Product Line Engineering: Foundations, Principles, and Techniques,” Springer-Verlag, Secaucus, NJ, USA, 2005.
- [15] SEI, *Arcade Game Maker Pedagogical Product Line* (2010). URL <http://www.sei.cmu.edu/productlines/ppl>