

Uma Abordagem para a Seleção de Padrões Arquiteturais Baseada em Características de Qualidade

José Ricardo Xavier

Cláudia Maria Lima Werner

Guilherme Horta Travassos

Programa de Engenharia de Sistemas e Computação
COPPE/UFRJ

Caixa Postal: 68511 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro – RJ

Voice: 5521 562-8675 / Fax: 5521 562-8676

{xavier, werner, ght}@cos.ufrj.br

Abstract: One of the critical issues regarding architecture based software development is concerned with the selection of suitable architectural styles or patterns to be used for the design solution. This paper describes an approach that explores a criteria based on software quality characteristics (basically, non-functional requirements) to support the selection of architectural patterns suitable for a software project. An experimental study has been accomplished to calibrate selecting knowledge explored by such criteria and its results are also described.

Resumo: O recente interesse na área de estudo das arquiteturas de software foi impulsionado pelo caráter que estas representam no desenvolvimento de produtos de qualidade. Porém, um dos aspectos críticos de se desenvolver software com ênfase arquitetural é a seleção de um estilo ou padrão arquitetural adequado. Neste artigo apresentamos uma abordagem de seleção de padrões arquiteturais baseada em um critério que busca privilegiar determinadas características de qualidade do software. O artigo ainda apresenta um estudo realizado para a calibração do conhecimento utilizado pela abordagem de seleção.

Palavras-chave: arquitetura de software, seleção de padrões arquiteturais, estudos experimentais.

1. Motivação

Desenvolver aplicações que efetivamente sejam a realização de um conjunto de funções e características desejadas para a solução de determinado problema ou automação de uma ou mais atividades não é tarefa trivial. A principal dificuldade vem do fato de lidarmos com domínios computacionais que ao longo do tempo vêm crescendo em complexidade. Uma forma de se administrar esta complexidade pode ser realizada pela decomposição do problema em uma estrutura hierárquica que permita a sua compreensão e descrição a partir de suas partes.

De acordo com (STAA, 2000), a técnica de modularização de software não é recente. No entanto, com o desenvolvimento desta abordagem, a representação estrutural de inter-relação entre módulos possibilitou a identificação de algumas características importantes. A primeira delas refere-se a observação de que muitos sistemas complexos possuem um padrão comum de organização de seus módulos. O aprofundamento dos trabalhos nesta área permitiu a evolução e

formalização do conceito que atualmente denominamos *arquitetura de software*. A representação explícita da arquitetura da aplicação contribuiu, sobretudo, para a identificação e avaliação da relação existente entre características de qualidade de um produto de software e o projeto arquitetural que lhe dá fundamento (BASS *et al.*, 1998, BOSCH, 2000).

Da mesma forma que construções podem seguir linhas comuns, as arquiteturas de software também podem seguir alguns estilos ou padrões específicos. A observância a determinado estilo arquitetural possibilita que soluções conhecidas sejam reaplicadas a muitos projetos, a partir da reutilização de modelos de composição e regras de aplicação (SHAW e GARLAN, 1996). A possibilidade de reutilização deste conhecimento traz à tona uma discussão mais relacionada a capacidade de reutilização de software no nível de projeto arquitetural.

No contexto de reutilização em um domínio específico de aplicação, as arquiteturas de software mostram ser de importância significativa. As arquiteturas especialmente preparadas para a reutilização, também conhecidas como arquiteturas de referência de domínio, são os artefatos que efetivamente realizam, através da inter-relação de seus componentes, as funções essenciais do domínio, e dão sustentação às características de qualidade que advêm do projeto arquitetural realizado (CHUNG *et al.*, 1994).

A atividade de projeto arquitetural, tanto no contexto de aplicações específicas quanto para a produção de arquiteturas de referência, baseia-se na conversão de um conjunto de requisitos na arquitetura de software que os preenche, ou ao menos facilita o seu preenchimento. No entanto, verificamos que esta atividade por muito tempo vem se baseando em um processo de construção focado, principalmente, na obtenção das funções que devem ser suportadas pelo software (CHUNG *et al.*, 1999). Percebemos, contudo, que na prática a atividade de projeto arquitetural baseada apenas na função não é suficiente para garantir que um software será bem avaliado pelos seus patrocinadores. Produtos de software que sejam lentos, difíceis de operar ou que não tenham níveis de robustez aceitáveis dificilmente serão aceitos, mesmo que façam exatamente o que foi especificado nos requisitos funcionais. Isto se dá em grande parte porque a arquitetura planejada não foi preparada para atender algumas das características de qualidade de natureza não funcional.

A reutilização de modelos arquiteturas de software objetiva a redução dos investimentos feitos no desenvolvimento de aplicações construídas em um mesmo domínio computacional. Com a complexidade do software, a reutilização de arquiteturas de sistemas apresenta-se como uma opção de desenvolvimento de aplicações que possuam o mesmo propósito geral.

A iniciativa de construção de arquiteturas enfoca a importância da escolha do estilo (SHAW e GARLAN, 1996) ou padrão arquitetural (BUSCHAMANN *et al.*, 1996) que irá guiar a especificação arquitetural. As inúmeras arquiteturas de software existentes alimentaram o estudo que permitiu que fossem identificados os principais estilos e padrões arquiteturais, formando uma base de conhecimento que vem possibilitando a representação, comunicação, construção de novas arquiteturas e a reutilização de arquiteturas existentes em novos projetos. As arquiteturas de software que seguem determinado estilo, ou padrão, apresentam características semelhantes, principalmente no que se refere aos benefícios alcançados e responsabilidades assumidas (como por exemplo, a possibilidade de reutilização de componentes, a facilidade de manutenção, os problemas com desempenho, etc.).

Alguns trabalhos ilustram a situação onde determinado padrão arquitetural foi aplicado à uma arquitetura particular (TRACZ, 1994, MEEKEL *et al.*, 1997, GOMAA e FARRUKH, 1999). Porém, na maioria dos casos estudados, percebemos uma representação da arquitetura com pouca ênfase na descrição do porquê determinado estilo ou padrão arquitetural foi escolhido e de que

maneira os requisitos de referência estariam sendo privilegiados com esta arquitetura em particular. Identificamos neste contexto uma oportunidade de contribuição para o problema de escolha de padrões arquiteturais no âmbito da especificação de arquiteturas de software.

Mas, um dos aspectos críticos de se desenvolver software com ênfase arquitetural passa justamente pela seleção de um estilo ou padrão. Percebemos que a relação existente entre o modelo proposto por um padrão arquitetural e o suporte a determinadas características do problema (principalmente as de natureza não-funcional), é difícil de ser identificada e realizada pela arquitetura do software.

O objetivo deste artigo é apresentar uma abordagem que busca apoiar o processo de seleção de padrões arquiteturas no contexto do projeto arquitetural de um software. Esta abordagem baseia-se na aparente relação entre estes mesmos padrões e um conjunto de características de qualidade de natureza não funcional que possam vir a ser necessárias em um software. Nosso trabalho está inserido no contexto do projeto da infra-estrutura Odyssey (BRAGA *et al.*, 1999), em desenvolvimento na COPPE/UFRJ, e busca atender a infra-estruturas de reutilização de software que possuam alguma ênfase no projeto arquitetural de domínio e de aplicações.

O artigo está organizado em 4 seções. A primeira seção contém a motivação deste trabalho. A seção 2 descreve uma proposta para apoiar a seleção de padrões arquiteturais. Na seção 3 apresentamos a elaboração de um processo de avaliação dos padrões arquiteturais, visando extrair, junto a desenvolvedores de software, um nível de conhecimento que possibilite a calibração contínua do conhecimento utilizado pela abordagem de seleção, para apoiar a sugestão de alternativas de projeto condizentes com a experiência em projeto arquitetural. E, finalmente, na seção 4 apresentamos as considerações finais e perspectivas futuras deste trabalho.

2. Uma abordagem para a seleção de padrões arquiteturais

Antes de considerar qualquer abordagem de seleção, verificamos se existiam indícios de que arquiteturas de software influenciam ou são influenciadas por características específicas. Na literatura encontramos estudos sobre as principais influências existentes na maior parte dos projetos arquiteturais (CHUNG *et al.*, 1994, CLEMENTS, 1995, BASS *et al.*, 1998).

A partir de um estudo das diferentes influências que uma solução arquitetural traz para o projeto da arquitetura, verificamos que as que mais tem relação com a fase de especificação do software e exercem grande impacto sobre a aceitação da solução são as características de qualidade da aplicação.

Na literatura especializada (BUSCHMANN *et al.*, 1996, SHAW e GARLAN, 1996, CLEMENTS, 1996, BOSCH, 2000) é possível encontrar descrições sobre os benefícios e dificuldades que freqüentemente ocorrem durante a utilização de determinado estilo ou padrão arquitetural em relação a algumas das características de qualidade. No entanto, tais descrições seguem pontos de vista particulares, de acordo com a perspectiva de cada autor. Percebemos, também, que não há um critério único que apóie a escolha de um conjunto mínimo de características que possibilite a avaliação consistente da utilização dos estilos e padrões arquiteturais.

Para que pudéssemos explorar o conhecimento sobre os benefícios e dificuldades comuns à utilização de estilos e padrões arquiteturais, analisamos e optamos por um modelo de qualidade que orientasse o processo de formalização deste conhecimento. No contexto deste trabalho escolhemos como ponto de partida o modelo definido pela ISO/IEC 9126-1 (ISO9126, 1992). Esta escolha deveu-se a ser esta uma iniciativa que propõe a consolidação de um modelo de

qualidade padrão para a avaliação de produtos de software. Contudo, selecionamos apenas as características de qualidade que julgamos depender diretamente da arquitetura do software para a sua realização. Nossa escolha recebeu a influência de trabalhos que relacionam algumas características de qualidade ao projeto arquitetural de software (BASS *et al.*, 1998, CHUNG *et al.*, 1999).

Uma vez estabelecidas as características de avaliação (características arquiteturais de qualidade baseadas na ISO/IEC 9126-1) e os objetos sob avaliação (padrões arquiteturais OO), havia a necessidade de escolher um critério que permitisse a avaliação da aplicabilidade dos padrões para a obtenção das características de qualidade. O critério utilizado para alcançar este objetivo foi o que se baseou na observação do aparente grau de esforço de desenvolvimento aplicado à fase de projeto arquitetural. Ou seja, em algumas situações, a aplicação de um padrão pode exigir um esforço em projeto bastante alto para que uma ou mais características arquiteturais de qualidade sejam privilegiadas pela arquitetura, podendo inviabilizar o seu uso no contexto do projeto. Com isso, seria melhor o uso de um padrão que se aplique mais adequadamente ao contexto dado pelas características arquiteturais que se deseja privilegiar.

A avaliação deste esforço foi feita por elementos classificatórios que dão a idéia da dimensão de sua dificuldade. No contexto deste trabalho, utilizamos uma faixa classificatória da forma “muito alto, alto, médio, baixo, muito baixo e desconhecido¹”. Esta classificação pretende apoiar a compreensão da influência, baseada na distância conceitual, da proximidade existente entre a aplicação de um padrão arquitetural e a conseqüente obtenção de características arquiteturais de qualidade.

A legenda utilizada é uma proposta de classificação inicial do critério de avaliação e organiza as faixas classificatórias relativas à aplicação do padrão para a obtenção de determinada característica arquitetural, da seguinte maneira:

- 1.Muito Bom (MB): Característica principal do padrão utilizado, sendo sua aplicação completamente favorável;
- 2.Bom (B): A utilização do padrão é favorável, mas exige algum esforço de projeto para alcançar o benefício almejado;
- 3.Médio (M): A utilização do padrão aplica-se a situações em que o esforço despendido se justifica perante o benefício encontrado;
- 4.Ruim (R): A utilização do padrão é injustificável na maioria das situações;
- 5.Muito Ruim (MR): A utilização do padrão é altamente desfavorável.
- 6.Desconhecido (D): Quando não há menção sobre esta relação de esforço;

Para realizarmos as avaliações dos padrões arquiteturais baseadas nas características arquiteturais de qualidade e no critério de esforço em projeto, utilizamos a própria definição dos padrões arquiteturais (BUSCHMANN *et al.*, 1996), complementada com algumas das descrições obtidas em (SHAW *et al.*, 1995, CLEMENTS, 1996, BOSCH, 2000).

O resultado desta avaliação pode ser visto na tabela 1.

¹ O relacionamento denominado "desconhecido" representa os casos em que para determinada característica arquitetural de qualidade não há informação suficiente que permita uma avaliação segura de sua relação.

Características arquiteturais	Padrões Arquiteturais							
	Camadas	Pipes & Filters	Blackboard	Broker	MVC	PAC	Microkernel	Reflection
Interoperabilidade	B	D	D	B	D	M	M	D
Segurança de acesso	MB	MB	M	B	B	M	B	D
Maturidade	M	R	MR	M	M	M	B	D
Tolerância a falhas	M	R	MB	R	M	M	R	R
Recuperabilidade	M	MR	R	R	D	R	R	D
Operacionalidade	B	D	D	D	MB	MB	D	D
Comportamento em relação ao tempo	M	B	MR	MR	M	R	M	R
Comportamento em relação aos recursos	R	R	MR	MR	M	R	M	R
Modificabilidade	B	M	MB	B	B	R	MB	MB
Testabilidade	MB	R	MR	R	B	MR	M	D
Adaptabilidade	MB	MR	D	B	B	D	B	B

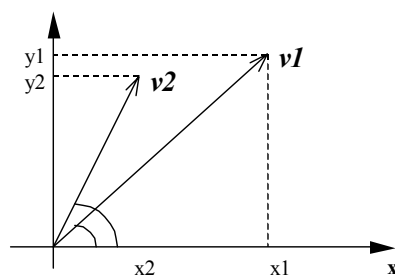
Tabela 1: Avaliação preliminar dos padrões arquiteturais utilizados.

As características arquiteturais de qualidade estão ordenadas na seqüência definida pelo modelo ISO/IEC 9126-1. Todavia, não acreditamos que qualquer mudança neste sentido cause algum impacto significativo na regra de seleção de padrões arquiteturais utilizada porque, para efeito de simplificação da abordagem, em um primeiro momento consideramos que as características utilizadas durante a avaliação são independentes umas das outras.

2.1 A abordagem para a seleção de padrões arquiteturais

Uma das condições necessárias para que a abordagem de seleção de padrões arquiteturais fosse realizada é a que estava relacionada ao processo de recuperação de componentes. Esta busca de componentes objetiva a classificação de possíveis soluções para que determinada necessidade seja atendida, a partir de um conjunto características de referência. A complexidade desta recuperação reside no fato de não estarmos lidando com um problema de busca exata, e sim com uma aproximação entre conceitos. Ou seja, há situações em que podemos procurar um padrão que tenha sido classificado como “esforço muito baixo” para determinada característica e este padrão não existir. Mesmo assim, é importante que a recuperação possa indicar os padrões que estão mais próximos deste objetivo.

Uma forma possível de realização desta busca por aproximação se baseia no conceito matemático de distância euclidiana (BOLDRINI *et al.*, 1980). Este mecanismo de busca explora a possibilidade de avaliação de distâncias conceituais a partir da comparação de elementos em um espaço vetorial multidimensional. A noção de distância conceitual é realizada, matematicamente, pela norma da diferença entre dois vetores $v1$ e $v2$ (figura 1).



Cálculo da distância:

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Figura 1: distância entre vetores

O cálculo da distância é realizado após a normalização dos vetores. Esta normalização é importante porque estamos interessados apenas na direção que cada vetor apresenta no espaço vetorial correspondente, minimizando a influência das dimensões dos vetores no cálculo da distância. Com a normalização, temos a equalização da importância das dimensões vetoriais e o enfoque fica apenas direcionado na direção que estes vetores podem assumir (KONTIO, 1995).

Alguns trabalhos mostram a possibilidade de utilização da abordagem vetorial para a avaliação de distâncias conceituais (MONETA *et al.*, 1990, ASADA *et al.*, 1992). Porém, foi preciso identificar de que forma poderíamos utilizar a abordagem vetorial para apoiar o processo de seleção. Ou seja, de que maneira esta abordagem poderia viabilizar a utilização do conhecimento obtido com a avaliação dos padrões arquiteturais, para que a indicação de possíveis soluções possa atender da melhor forma possível ao conjunto de características arquiteturais almejadas.

Percebemos que a própria organização dada à avaliação dos padrões (Tabela 1) permitiu sua representação vetorial. Consideramos que as características arquiteturais de qualidade são as dimensões do espaço vetorial e que cada padrão arquitetural é um elemento neste espaço dimensional.

Partindo da observação de que todos os padrões arquiteturais OO podem ser representados através do seu relacionamento com as características arquiteturais de qualidade, pudemos formalizá-los através de um espaço vetorial com um número de dimensões igual ao conjunto de características utilizado em nossa abordagem, da seguinte maneira:

$$V = \mathbf{R}^{11} = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11})$$

onde V é o vetor que representa um padrão arquitetural no espaço das características arquiteturais de qualidade e X_i representa a avaliação de esforço dada ao padrão para a característica arquitetural de qualidade de índice i , sendo a característica de índice 1 igual a “interoperabilidade”, de índice 2 igual a “segurança de acesso”, e assim sucessivamente, na seqüência de características definidas na Tabela 1.

Após especificar a representação vetorial dos padrões arquiteturais, É preciso transformar os conceitos subjetivos utilizados nesta representação em valores numéricos, de forma a ser possível o cálculo vetorial das distâncias. Uma forma de tratamento desta quantificação de valores é a que atribui pesos a classificação de conceitos subjetivos. Para efeito de validação da proposta, estabelecemos que a faixa de valores utilizados em qualquer quantificação de classificações subjetivas está definida pelo intervalo [0..1].

Especificamente para os padrões arquiteturais, a subjetividade dos conceitos localiza-se na aparente relação de esforço existente entre o padrão e determinada característica de qualidade. Sua classificação foi feita pelos elementos “muito alto, alto, médio, baixo e desconhecido”, como visto anteriormente.

A atribuição dos valores para o grau de esforço foi realizada respeitando a faixa pré-definida e estabelecendo que os itens “muito baixo” e “muito alto” estariam nos extremos da faixa de valores possíveis, buscando, ainda, estabelecer distâncias bem próximas entre os itens do conjunto para representar proporcionalmente o crescimento do grau de esforço dentro do intervalo de valores utilizado. Atribuímos os pesos descritos na Tabela 2 aos elementos classificatórios utilizados na avaliação dos padrões:

Grau de esforço	Valores atribuídos
Muito bom	1
Bom	0.7
Médio	0.5
Ruim	0.3
Muito ruim	0

Tabela 2: Quantificação dos graus de esforço especificados na avaliação dos padrões

Propomos ainda que o valor a ser atribuído ao nível de esforço "desconhecido" seja estabelecido a partir da simulação desta relação, permitindo ao projetista a avaliação do impacto destas características desconhecidas de três maneiras distintas:

- Otimista: Subentende-se que o padrão possivelmente atenderia bem a característica. Pressupõe-se que os relacionamentos desconhecidos contribuem em um grau que esteja entre o muito bom e o bom;
- Neutra: Aposta-se que a aquisição da característica exigiria um grau razoável de adaptação da arquitetura. Pressupõe-se que os relacionamentos desconhecidos contribuem em um grau que seja igual ao valor médio;
- Pessimista: O projetista não considera que a utilização do padrão possa atender favoravelmente a característica. Pressupõe-se que os relacionamentos desconhecidos contribuem em um grau que esteja entre o ruim e o muito ruim.

Nestas simulações, o projetista pode confrontar os resultados obtidos nas três visões e inferir quais das perspectivas podem ser aplicadas nas situações de especificação arquitetural. A idéia representada nesta simulação é a de que mesmo não conhecendo como uma determinada característica arquitetural desejada é suportada por um padrão arquitetural, o impacto destas características sob as visões especificadas anteriormente pode ser calculado.

A quantificação de um grau para a representação do tipo de simulação adotado deve pertencer a mesma faixa de valores condizentes com os graus atribuídos nos relacionamentos conhecidos. Ou seja, uma abordagem otimista deve atribuir ao relacionamento "desconhecido" um valor que represente um relacionamento que esteja entre o muito bom e o bom, sendo realizado de forma semelhante para os outros dois tipos possíveis de simulações. Atribuímos os valores representados pela Tabela 3 para a representação e utilização na construção do espaço vetorial de padrões arquiteturais.

Simulação	Valores atribuídos
Otimista	0,8
Neutra	0,5
Pessimista	0,2

Tabela 3: Quantificação das possibilidades de simulação

É importante perceber que somente após a escolha de uma abordagem de simulação é que realizamos a quantificação completa de toda a avaliação dos padrões. Somente quando houver conhecimento suficiente para garantir uma avaliação completa dos padrões é que este tipo de simulação deixa de ser importante para o contexto desta abordagem de seleção.

Analogamente à avaliação dos padrões, precisamos definir de que forma iremos realizar a representação vetorial da especificação das características arquiteturais de referência. Esta

especificação representa o objetivo de projeto a ser atingido com a utilização dos padrões arquiteturais.

Propomos, então, a especificação deste conjunto a partir de uma classificação que demonstre o valor de cada característica arquitetural no contexto específico de desenvolvimento arquitetural. Em nosso trabalho, o papel de cada característica pode ser avaliado como:

1. Importante (IM): É fundamental que a característica esteja presente no software;
2. Desejável (DJ): É bom ter esta característica, mas sua ausência não é crítica para o software;
3. Irrelevante (IR): Não é uma preocupação do software suportar a característica²;

Por exemplo, em uma situação de avaliação de características arquiteturais, podemos ter a avaliação representada pela Tabela 4.

Aplicação	Expectativa
Interoperabilidade	IM
Segurança de acesso	DJ
Maturidade	IR
Tolerância a falhas	IR
Recuperabilidade	IR
Operacionalidade	IR
Comportamento (tempo)	IM
Comportamento (recursos)	IR
Modificabilidade	DJ
Testabilidade	IR
Adaptabilidade	IR

Tabela 4: Exemplificação da classificação das características arquiteturais

É a partir da classificação do conjunto de características arquiteturais que podemos atribuir os valores que representam a significância de cada característica. Atribuímos inicialmente os valores apresentados na Tabela 5 para a representação e construção do vetor que traduz a especificação das características arquiteturais de qualidade que se busca alcançar. A atribuição destes pesos foi feita também buscando estabelecer distâncias proporcionais, estabelecendo que os itens “importante” e “irrelevante” estariam nos extremos da faixa de valores possíveis para a quantificação das classificações realizadas.

Papel da característica	Valores atribuídos
Importante	1
Desejável	0,5
Irrelevante	0

Tabela 5: Quantificação dos papéis atribuídos ao conjunto de características de referência

² A priori pode ser considerado que, em determinadas circunstâncias, quando o vetor objetivo possui muitas dimensões irrelevantes, um componente cujas dimensões sejam descritas como muito desfavoráveis seja apresentado como o mais indicado, visto o efeito destas dimensões sobre o cálculo da distância. Esse efeito, porém, tende a ser minimizado com o processo de normalização, devido ao ajuste sobre o efeito negativo das dimensões desfavoráveis. Entretanto, este é um aspecto que necessita um estudo mais elaborado.

2.2 Exemplo de utilização

Para efeito de entendimento da abordagem de avaliação da distância conceitual baseado na representação vetorial dos padrões arquiteturais, escolhemos um exemplo que será utilizado ao longo deste item para a sua melhor compreensão. Este exemplo segue as avaliações realizadas para os padrões arquiteturais, bem como todos os pesos descritos nas seções anteriores.

Consideraremos, neste exemplo, apenas os padrões “Camadas” e “Pipes & Filters” como elementos do espaço vetorial dos padrões arquiteturais. As suas respectivas representações vetoriais são dadas da seguinte maneira (vide tabela 1):

$$\begin{aligned} \text{Camadas} &= (B, MB, M, M, M, B, M, R, B, MB, MB); \text{ e} \\ \text{Pipes \& Filters} &= (D, MB, R, R, MR, D, B, R, M, R, MR). \end{aligned}$$

A representação quantitativa para cada uma das dimensões dos padrões exemplificados faz-se necessária a ambos os padrões e apóia-se na atribuição dos pesos para cada avaliação dimensional (vide tabela 2). Desta maneira, os padrões arquiteturais “Camadas” e “Pipes & Filters” passam a ser representados da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Camadas} &= (0.7, 1, 0.5, 0.5, 0.5, 0.7, 0.5, 0.3, 0.7, 1, 1); \text{ e} \\ \text{Pipes \& Filters} &= (D, 1, 0.3, 0.3, 0, D, 0.7, 0.3, 0.5, 0.3, 0). \end{aligned}$$

Supondo que tenhamos escolhido uma simulação neutra para o tratamento do grau de esforço desconhecido, temos então os padrões arquiteturais “Camadas” e “Pipes & Filters” utilizados no exemplo da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \text{Camadas} &= (0.7, 1, 0.5, 0.5, 0.5, 0.7, 0.5, 0.3, 0.7, 1, 1); \text{ e} \\ \text{Pipes \& Filters} &= (0.5, 1, 0.3, 0.3, 0, 0.5, 0.7, 0.3, 0.5, 0.3, 0). \end{aligned}$$

De forma complementar, a classificação das características arquiteturais possibilita a geração de um vetor no espaço multidimensional destas características que representa o elemento-alvo que se almeja suportar com a aplicação de determinado padrão arquitetural. A geração deste vetor é semelhante a que foi feita para os padrões. O vetor *objetivo* segue a avaliação apresentada na seção 3.3 e pode ser vista no vetor abaixo:

$$\text{Objetivo} = (IM, DJ, IR, IR, IR, IR, IM, IR, DJ, IR, IR),$$

onde as características de interoperabilidade e comportamento em relação ao tempo são consideradas importantes, as relacionadas à segurança de acesso e modificabilidade são desejadas e as demais características são consideradas irrelevantes (vide tabela 4).

A representação quantitativa do vetor *Objetivo* correspondente à especificação das características arquiteturais tem a seguinte configuração:

$$\text{Objetivo} = (1, 0.5, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0.5, 0, 0).$$

A normalização e o cálculo da distância entre vetores podem ser melhor visualizados quando utilizamos os exemplos dos vetores correspondentes ao padrão arquitetural “Camadas” e “Pipes & Filters”, denominados respectivamente *C* e *P*, e a especificação das características arquiteturais previamente estabelecida. A simulação escolhida é a neutra.

As normas dos vetores C e P são respectivamente 2,36 e 1,61. Este resultado é então utilizado para normalizar os vetores correspondentes aos padrões “Camadas” e “Pipes & Filters”, para que estes passem a ser vetores unitários. Os novos vetores C' e P' são os resultados desta normalização e seus valores são os seguintes:

$$C' = (0.30, 0.42, 0.21, 0.21, 0.21, 0.30, 0.21, 0.13, 0.30, 0.42, 0.42); \text{ e}$$

$$P' = (0.31, 0.62, 0.19, 0.19, 0.00, 0.31, 0.43, 0.19, 0.31, 0.19, 0.00)$$

O vetor correspondente à especificação das características arquiteturais passa pelo mesmo processo de normalização e é representado pelo vetor denominado O' , já normalizado, da seguinte maneira:

$$O' = (0.63, 0.32, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.63, 0.00, 0.32, 0.00, 0.00)$$

Em nosso exemplo, apresentamos na tabela 6 os valores das distâncias vetoriais entre os padrões arquiteturais “Camadas” e “Pipes & Filters” e a especificação das características arquiteturais de referência.

Padrão Arquitetural	Distância
Camadas	0.95
Pipes & Filters	0.69

Tabela 6: Quantificação das distâncias entre vetores

De acordo com os resultados apresentados, podemos inferir que, para o contexto especificado pelo conjunto de características arquiteturais de qualidade de referência, o padrão “Pipes & Filters” é mais indicado do que o padrão “Camadas”, indicando que o nível de esforço para se desenvolver uma solução arquitetural que privilegie nos graus especificados para as características arquiteturais deve ser menor quando nos baseamos no padrão “Pipes & Filters”, ao invés do padrão “Camadas”.

A abordagem de seleção de padrões arquiteturais materializou-se com a construção de uma ferramenta que apóia a as fases de criação e instanciação de arquiteturas de domínio e aplicação e cuja descrição detalhada pode ser encontrada em (XAVIER, 2001).

3. Calibração do modelo e processo para evolução do conhecimento

O cálculo das distâncias entre cada vetor correspondente a um padrão arquitetural e a especificação das características arquiteturais permite que, ao fim deste processo, tenhamos uma classificação dos resultados, sendo possível a criação de uma ordenação que informa quais os padrões arquiteturais que estão mais ou menos próximos da especificação desejada. Esta ordenação sugere a possibilidade de aplicação dos padrões no contexto desejado, orientando o processo de escolha e aplicação de determinada solução arquitetural.

A avaliação dos padrões arquiteturais permitiu que identificássemos, para o conjunto de características arquiteturais de qualidade particular, aspectos relacionados ao aparente nível de esforço despendido nos projetos arquiteturais. Contudo, a eficácia da seleção dos padrões arquiteturais depende muito da qualidade deste levantamento. Percebemos que o conhecimento descrito na literatura é importante, mas não é suficiente para sustentar de forma confiável a

abordagem de seleção. Vimos, portanto, a necessidade de estabelecermos uma abordagem que possibilitasse o ajuste, extensão e validação deste conhecimento.

A abordagem de seleção dos padrões arquiteturais está baseada em dois aspectos principais. O primeiro deles refere-se a utilização de um mecanismo que permite avaliar a distância conceitual entre os padrões arquiteturais e determinada especificação de características arquiteturais de qualidade que serve como referência. Este cálculo age sobre uma base de avaliações e a qualidade dos resultados apresentados depende, substancialmente, do processo de análise utilizado para obter este conhecimento.

Cientes de que a organização da base de avaliações é o segundo aspecto importante da abordagem de seleção e que a utilização de apenas algumas poucas referências encontradas na literatura pode implicar em uma baixa aplicabilidade dos resultados, buscamos formalizar a base de um processo que possa ser aplicado continuamente e que pretende apoiar a evolução das avaliações associadas aos padrões arquiteturais. Para viabilizar este processo, decidimos elaborar um estudo que pudesse, ao seu final, contribuir para a avaliação contínua e realimentação das informações nesta base.

3.1 Avaliação baseada em cenários de projeto

O principal objetivo deste estudo foi a realização do levantamento, junto a desenvolvedores de software, da relação identificada entre arquiteturas de software representadas através de padrões arquiteturais OO e as características arquiteturais de qualidade definidas para o escopo deste trabalho.

A abordagem de seleção dos padrões arquiteturais está baseada em um levantamento de trabalhos que descrevem a aplicabilidade destes mesmos padrões e suas conseqüências em relação a algumas características do software produzido. Contudo, conforme mencionado anteriormente, percebemos que tais descrições mostram-se incompletas, tendo se mostrado necessário um levantamento junto a especialistas em projeto para a calibração da base de avaliações sobre a qual a abordagem proposta se apóia.

Este estudo baseia-se na idéia de que desenvolvedores de software, com experiência em projeto arquitetural e detalhado, possuem conhecimento suficiente para contribuir com indicações sobre a utilização dos padrões arquiteturais. Contamos com a participação voluntária dos desenvolvedores e foi planejado para avaliar a aparente relação de esforço para que determinada característica de qualidade seja privilegiada, quando o projeto arquitetural baseia-se em um padrão específico.

Para a medição dos resultados, o estudo foi dividido em duas partes:

1. Caracterização do perfil do desenvolvedor: O perfil do desenvolvedor foi utilizado para complementar a análise dos resultados, principalmente na situação em que há conflito de respostas. Esta caracterização procurou indicar também se existiu qualquer tipo de influência nas respostas dadas, principalmente em relação à natureza dos sistemas previamente desenvolvidos e pela diversidade de domínios de aplicações conhecidos;
2. Avaliação dos padrões arquiteturais: Mantivemos o objetivo estabelecido para a representação do conhecimento relacionado à utilização dos padrões arquiteturais.

3.1.1 Instanciação

A avaliação deste conhecimento foi realizada através de um exercício que enfocou alguns cenários de projeto que pudessem representar situações próximas da realidade de desenvolvimento. Organizamos, então, o estudo na forma de um sistema hipotético, com

requisitos arquiteturais de qualidade específicos, deveria ser analisado quanto à utilização de padrões arquiteturais. Para efeito de ilustração, apresentamos a descrição geral do problema contemplado, conforme pode ser visto a seguir:

A empresa de desenvolvimento “SIGA Soft” adota uma sistemática de desenvolvimento onde se busca alcançar características de qualidade em seus produtos através de um projeto arquitetural bem realizado. Um dos seus principais clientes necessita de um software que o atenda em critérios bem definidos de qualidade. O propósito é descrever uma solução que demonstre ser adequada à suas necessidades.

Descrição do Sistema

O supermercado “Popular” identificou a necessidade de informatizar algumas de seus processos de negócio. O sistema principal será desenvolvido com o propósito de registrar as vendas de mercadorias e lidar com as possíveis formas de pagamento (dinheiro, cheque e cartão de crédito). O controle da abertura e fechamento dos caixas também deve ser tratado, bem como o processo de sangria (retirada de espécie monetária dos caixas para o cofre). Além disso, adotou-se uma política de descontos progressiva, onde o cliente que possui um histórico de compras alto ou de fidelidade ganha um desconto no ato do pagamento de acordo com uma política definida pela direção.

De acordo com a descrição do sistema, solicitamos que você responda as seguintes questões, para cada um dos cenários de projeto apresentados:

...

A organização dos diferentes cenários de desenvolvimento utilizados para dar sustentação ao estudo está representada pela Tabela 7. Preocupamo-nos com o equilíbrio na distribuição das características arquiteturais de qualidade para que pudéssemos extrair algumas conclusões sobre os resultados obtidos, principalmente porque consideramos existir um certo grau de dificuldade para se lidar com as características envolvidas em cada cenário. A seguir a descrição do cenário 1.

Cenário 1:

As maiores preocupações do projeto relacionam-se com a segurança e a integridade do sistema. Desta forma, a arquitetura deve privilegiar um acesso seguro as funções de abertura, fechamento e sangria dos caixas e em caso de falhas deve ser capaz de restabelecer e restaurar dados após a falha. Características esperadas: Segurança de acesso e recuperabilidade.

Características Arquiteturais	Cenários de Projeto				
	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4	CENÁRIO 5
Interoperabilidade		X			
Segurança de acesso	X				
Maturidade				X	
Tolerância a falhas			X		
Recuperabilidade	X				
Operacionalidade			X		
Comportamento em relação ao tempo		X			
Comportamento em relação aos recursos					X
Modificabilidade				X	
Testabilidade				X	
Adaptabilidade					X

Tabela 7: Distribuição das características arquiteturais entre cenários de projeto

3.1.2 Execução

Identificamos, junto aos alunos de mestrado e doutorado de um programa de pós-graduação pela característica técnica de cada um, um grupo inicial de 10 participantes. Estes indivíduos foram escolhidos tendo em vista sua experiência anterior na utilização de padrões arquiteturais em projetos de software ou então que possuísem algum conhecimento teórico sobre o assunto. Solicitamos a cada um o esforço voluntário para a realização da pesquisa. Destes, apenas 5 (caracterizados na Tabela 8) completaram o estudo.

Tempo (em anos) de atuação em: Principal atividade

Participante	Formação	Empresa	Universidade	Empresa	Universidade
A	Doutor em ES	5	7	Analista	Professor
B	Mestre em ES	9	4	Programador	Professor
C	Mestre em ES	12	5	Consultor	Professor
D	Graduação	2	5	Programador	Pesquisador
E	Graduação	1	4	Programador	Pesquisador

Tabela 8: Perfil dos participantes

Para a execução do estudo solicitamos ao especialista que, para cada cenário de projeto, indicasse e justificasse os padrões arquiteturais mais e menos aplicáveis ao contexto descrito, informando pelo menos dois padrões arquiteturais para cada situação. O especialista deveria ainda descrever algumas observações em relação aos motivos que o levaram a excluir os restantes dos padrões das situações anteriores, nos permitindo assim realizar uma avaliação qualitativa dos resultados. Com isso, buscamos ter uma visão da aplicação destes padrões, em uma relação de aplicabilidade parcial no cenário (ou seja, quando um determinado padrão pode ser utilizado, apesar de não ser considerado a solução ideal).

3.1.3 Resultados

Identificamos que a elaboração do processo de reavaliação dos padrões arquiteturais se faz necessária porque percebemos que a confiabilidade das indicações utilizadas pela abordagem de seleção arquitetural está sujeita à limitada fonte de referências existente, o que poderia comprometer a qualidade dos resultados apresentados com o uso deste mecanismo de seleção de padrões.

Sua execução, através da aplicação do estudo das relações existentes entre as características arquiteturais utilizadas e os padrões arquiteturais OO, mostrou que um processo deste tipo pode ser aplicado repetidas vezes, possibilitando que a base de avaliações evolua o suficiente para apoiar corretamente a aplicação de padrões arquiteturais no desenvolvimento de software. No entanto, este processo deve ser realizado de maneira acumulativa, para que a base de avaliações não corra o risco de sempre refletir os resultados obtidos com o último grupo avaliado.

Apesar do pequeno número de indivíduos, a interpretação dos resultados nos permitiu observar que o conhecimento adquirido com a experiência poderia ser agregado à abordagem de seleção, contribuindo para o ajuste nos mecanismos de avaliação dos padrões arquiteturais. Este processo de interpretação envolveu, além da análise dos dados fornecidos pelos indivíduos, a utilização da ferramenta de apoio de forma que os resultados obtidos para os mesmos cenários pudessem ser comparados com aqueles fornecidos pelos especialistas em projeto arquitetural, permitindo assim, a identificação dos pontos de melhoria.

Desta forma, além de servir para avaliar a utilização desta abordagem de avaliação como um processo para aprimoramento do conhecimento relacionado à escolha dos padrões arquiteturais, serviu também para evoluir o conhecimento inicialmente disponível (vide Tabela 1) permitindo a identificação de um novo estado da base de conhecimento conforme mostrado pela Tabela 9. As células em cinza identificam os valores modificados.

É notório que este estudo está limitado ao número de indivíduos, cenários de projeto, e as características arquiteturais envolvidas em cada cenário, o que restringe o escopo dos resultados obtidos. No entanto, com o tempo, prevemos a possibilidade de novas situações serem propostas, ampliando assim o leque de opções no que se refere aos exemplos utilizados em cada nova aplicação do estudo, permitindo assim que o conhecimento tácito utilizado pelos projetistas se reflita continuamente na abordagem de seleção de padrões arquiteturais fomentando sua extensão e evolução.

Padrões Arquiteturais Características de Qualidade	Camadas	Pipes & Filters	Blackboard	Broker	MVC	PAC	Microkernel	Reflection
Interoperabilidade	B	D	D	B	D	M	M	D
Segurança de acesso	MB	D	M	B	B	M	B	MR
Maturidade	M	R	MR	M	B	M	B	D
Tolerância a falhas	M	R	R	R	M	M	R	MR
Recuperabilidade	M	MR	R	MR	D	R	R	D
Operacionalidade	B	D	R	D	MB	MB	D	D
Comportamento em relação ao tempo	M	B	MR	MR	M	R	M	R
Comportamento em relação aos recursos	R	R	MR	MR	M	R	M	R
Modificabilidade	B	M	MB	B	B	R	MB	MB
Testabilidade	MB	R	MR	R	B	MR	M	D
Adaptabilidade	MB	MR	D	B	B	D	B	B

Tabela 9: Resultado da reavaliação dos padrões arquiteturais utilizados.

4. Conclusão

O intuito da aplicação da abordagem de seleção de padrões arquiteturais é o de apoiar a transição entre as fases de análise e de projeto arquitetural através da aplicação da reutilização de padrões arquiteturais que potencialmente se aplicam ao contexto de um problema. Esta abordagem representa uma iniciativa de extensão do conhecimento para que o arquiteto possa utilizar durante a tomada de suas decisões de projeto sem que apenas se baseie em critérios subjetivos.

Neste contexto, existem alguns trabalhos que se propõem a apoiar o processo de seleção de estilos e padrões arquiteturais para as suas aplicações (CLEMENTS, 1995, SHAW e GARLAN, 1996, KAZMAN e KLEIN, 1999). As principais abordagens que dão sustentação às heurísticas de seleção baseiam-se no complemento do conhecimento do projetista e na avaliação dos estilos e padrões arquiteturais em relação à obtenção de certas propriedades (normalmente, características relacionadas à função da aplicação ou aos seus aspectos gerais, tais como desempenho, reutilização, etc.).

Porém, o que nos chama a atenção nestas abordagens é o fato de ser utilizado um critério para a discriminação baseado em informações muito específicas e distantes da fase de projeto

preliminar de uma aplicação. Acreditamos ser mais propício e natural que o projetista arquitetural pense em características (de qualidade) mais genéricas que a arquitetura busca atender durante a passagem da fase de análise para o projeto preliminar, do que pensar em processos, chamadas de procedimentos e topologias. Estas abordagens mostram-se frágeis, ainda, ao buscar resolver certos conflitos quando estão envolvidas mais de uma característica do problema.

Ao propormos uma abordagem de seleção de padrões arquiteturais que potencialmente apóiam a obtenção de características arquiteturais, seguimos uma linha de trabalhos que reconhecem a influência das características de qualidade para o projeto de software (CHUNG *et al.*, 1999, CYSNEIROS, 2001). Nossa abordagem, no entanto, não trata da questão sobre a representação dessas características em grafos para o tratamento de suas interdependências (CHUNG e NIXON, 1995). Nossa intenção está centrada apenas na utilização de um conjunto de características arquiteturais de referência que permita a representação da natureza não funcional que se deseja alcançar.

Esta abordagem está igualmente apoiada em um processo de levantamento e representação de conhecimento prático em projeto arquitetural que contribui para a eficácia do processo de indicação. Procuramos dar ao experimento uma estrutura que permite a sua aplicação contínua de forma a agregar valor à representação do conhecimento dos padrões arquiteturais. Como contribuição deste trabalho, o pacote completo que permite a re-aplicação do estudo pode ser encontrado em (XAVIER, 2001).

Entre os trabalhos futuros sugeridos no intuito de dar continuidade a esta pesquisa, podemos citar a extensão do conjunto de padrões arquiteturais OO utilizados pela abordagem, a extensão do conjunto de características arquiteturais utilizados e o tratamento da interdependência entre as características arquiteturais, o ajuste da abordagem de classificação dos padrões arquiteturais para o tratamento da evolução dos critérios de avaliação utilizados e o desenvolvimento de um estudo mais abrangente que permita a identificação de um conjunto maior de características arquiteturais presentes no contexto de projeto e de que forma a aplicação de determinado padrão contribui para que estas características sejam ou não privilegiadas.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com apoio do CNPq, o qual os autores reconhecem e agradecem.

Referências

- ASADA, T., SWONGER, R. F., BOUNDS, N. *et al.*, 1992, *The Quantified Design Space: A Tool for the Quantitative Analysis of Design*, SEI Technical Report CMU/SEI-92-TR-213, Carnegie Mellon University.
- BASS, L., CLEMENTS, P., KAZMAN, R., 1998, *Software Architecture in Practice*, 1 ed., Addison-Wesley.
- BOLDRINI, J. L., COSTA, S. R., FIGUEIREDO, V. L., *et al.*, 1980, *Álgebra Linear*, 3 ed., capítulo 8, Harper & Row do Brasil.
- BOSCH, J., 2000, *Design and Use of Software Architectures: Adopting and Evolving a Product-Line Approach*, 1 ed., Addison-Wesley.
- BRAGA, R. M. M., WERNER, C. M. L., MATTOSO, M. L. Q., 1999, "Odyssey: A Reuse Environment Based on Domain Models", 2nd IEEE *Symposium on Application-Specific System and Software Engineering Technology (ASSET'99)*, pp. 50-57, Richardson, EUA, Março.

- BUSCHMANN, F., MEUNIER R., ROHNERT, H., *et al.*, 1996, *Pattern-Oriented Software Architecture, A System of Patterns*, 1 ed., John Wiley & Sons.
- CHUNG, L. K., NIXON, B., YU, E., 1994, "Using Quality Requirements to Drive Software Development", *Workshop on Research Issues in the Intersection Between Software Engineering and Artificial Intelligence*, pp. 16-17, Sorrento, Itália, Maio.
- CHUNG, L. K., NIXON, B., 1995, "Dealing with Non-Functional Requirements: Three Experimental Studies of a Process-Oriented Approach", In: *Proceedings of 17th International Conference on Software Engineering*, pp. 24-28, Washington, EUA, Abril.
- CHUNG, L. K., NIXON, B., YU, E., *et al.*, 1999, "Non-Functional Requirements in Software Engineering", 1 ed., Kluwer Academic Publishers.
- CLEMENTS, P., 1995, "Understanding Architectural Influences and Decisions in Large System Projects". In: *Proceedings of the 1st International Workshop on Architectures for Software Systems*, pp.31-43, Seattle, EUA, Abril.
- CLEMENTS, P., 1996, *Coming to Abstractions In Software Architecture*, SEI Technical Report - CMU/SEI - 96- TR-008, Carnegie Mellon University.
- CYSNEIROS, L. M., 2001, *Requisitos Não Funcionais: Da Elicitação ao Modelo Conceitual*. Tese de D.Sc., PUC-RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- GOMAA, H., FARRUKH, G. A., 1999, "A Reusable Architecture for Federated Client/Server Systems", In: *Proceedings of the Symposium on Software Reusability (SSR'99)*, pp. 113-121, Los Angeles, EUA, Maio.
- ISO9126, 1992, "*International Technology – Software Product Evaluation – Quality Characteristics and Guidelines for their Use*". International Organization for Standardization, Geneva.
- KAZMAN, R., KLEIN, M., 1999, *Attribute-Based Architectural Styles*, SEI Technical Report CMU/SEI-99-TR-022, Carnegie Mellon University.
- KONTIO, J., 1995, *OTSO: A Systematic Process for Reusable Software Component Selection*, Computer Science Technical Report CS-TR-3478, University of Maryland.
- MEEKEL, J., HORTON, T., FRANCE, R., *et al.*, 1997, "From Domain Models to Architecture Frameworks". In: *Proceedings of the 1997 Symposium on Software Reusability (SSR'97)*, pp. 75-80, Boston, EUA, Maio.
- MONETA, C., VERNAZZA, G., ZUNINO, R., 1990, *A Vectorial Definition of Conceptual Distance for Prototype Acquisition and Refinement*. Technical Report TUM-I9019, Technical University Munich.
- SHAW, M., DELINE, R., KLEIN, D. V., *et al.*, 1995, "Abstractions for Software Architectures and Tools to Support Them", *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 21, no. 4, Abril, pp. 314-335.
- SHAW, M., GARLAN, D., 1996, *Software Architecture: Perspectives on an Emerging Discipline*. 1 ed. New Jersey, Prentice-Hall.
- STAA, A., 2000, *Programação Modular*. 1 ed. Campus.
- TRACZ, W., 1994, "DSSA (Domain-Specific Software Architecture) Pedagogical Example", *ACM Software Engineering Notes*, v. 20, n. 3 (Julho), pp. 49-62.
- XAVIER, J.R. 2001, "*Criação e Instanciação de Arquiteturas de Software Específicas de Domínio no Contexto de Uma Infra-Estrutura de Reutilização*", Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.