

Aferição da Qualidade do Código-Fonte com apoio de um ambiente de *Data Warehousing* na gestão de contrato ágil: um estudo de caso em uma autarquia da Administração Pública Federal

Guilherme Baufaker Rêgo¹, Aline Gonçalves do Santos¹, Hilmer Neri¹

¹Faculdade UnB Gama – Universidade de Brasília

gbre.111@gmail.com, alinegsantoss@gmail.com, hilmer@unb.br

Resumo. Atualmente, algumas organizações da Administração Pública Federal iniciam investimentos para adotar contratações de serviços de desenvolvimento de software utilizando métodos ágeis. Nestes processos de contratação percebeu-se a lacuna de como incorporar a qualidade interna do produto recebido como um critério de aceitação. O objetivo deste trabalho foi propor uma solução automatizada, apoiada em um ambiente de data warehousing, que pudesse aferir elementos do código-fonte de forma a apoiar a aceitação ou rejeição do produto por parte da contratante. Visando a validação empírica da solução automatizada, realizou-se um estudo de caso no qual foi avaliado as 24 releases mensais do Sistema Integrado de Gestão e Conhecimento (SIGC) do IPHAN no qual foram avaliadas mais de 39.000 linhas de código-fonte.

Palavras-chave: Código-fonte, contratações, métodos ágeis, IN04, qualidade do código-fonte, qualidade interna do produto, código-limpo, estudo de caso, administração pública federal.

1. Introdução

No desenvolvimento de software, há diversas variáveis, quer sejam de natureza ambiental ou técnica, que provavelmente impactarão desde a execução do processo de análise de requisitos até a implantação do software [Beck 1999a]. Essa característica torna o processo de desenvolvimento pouco previsível e complexo, requerendo flexibilidade e personalização para ser capaz de responder às mudanças. Em consonância a esse movimento, órgãos da Administração Pública Federal (APF) também têm aderido a utilização de metodologias ágeis nos processos de desenvolvimento de software.

Recentemente, Tribunal de Contas da União publicou o Acórdão no 2314/2013 [BRASIL 2013a] com práticas de contratação realizadas por instituições públicas federais, como por exemplo, Banco Central do Brasil (BACEN), Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Texeira (INEP), Tribunal Superior do Trabalho (TST) e Supremo Tribunal Federal (STF). Nestes órgãos, alguns casos de sucesso advém de processos de desenvolvimento interno e também por meio da transferência da execução tarefas executivas não ligadas com a função fim para iniciativa privada na prática conhecida comumente como terceirização de serviços que é apoiada pela legislação brasileira na Lei 8.666/1993 [BRASIL 1993] que estabelece normas gerais sobre licitações e contratos administrativos; no

Decreto-Lei 200/1967 que enunciou sobre a execução indireta de funções não finalísticas visando impedir o crescimento desmesurado da máquina administrativa e na Instrução Normativa nº 4 [BRASIL 2010] que versa sobre o processo de Contratação de Soluções de Tecnologia da Informação pelos órgãos integrantes do Sistema de Administração dos Recursos de Informação e Informática do Poder Executivo Federal.

A Instrução Normativa nº 4 [BRASIL 2010], que é a norma mais recente, enuncia um conjunto e boas práticas e um modelo processo de contratações conforme visto na figura 1.

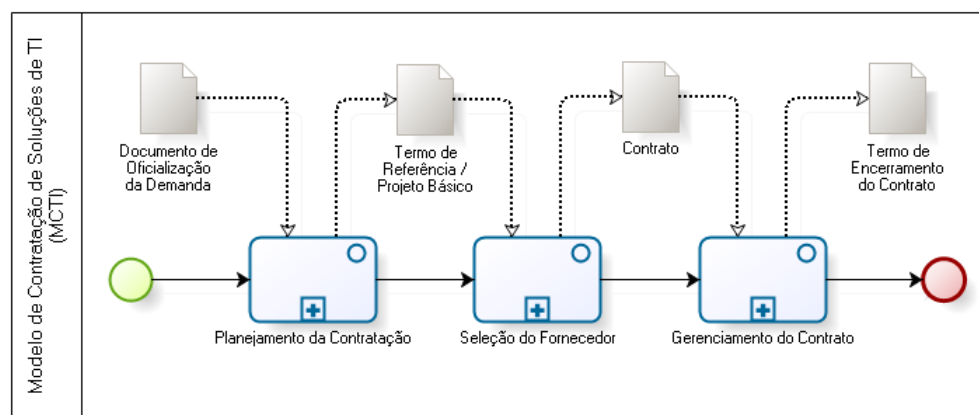


Figura 1. Modelo de Processo de Contratações de Soluções de TI [BRASIL 2013b]

A fase de Gerenciamento do Contrato visa acompanhar e garantir a adequada prestação do serviço e o fornecimento de bens que compõem a solução de TI, sendo que está disposto no art. 25 III, alínea b), que a avaliação da qualidade dos serviços realizados ou dos bens entregues e justificativas deve estar de acordo com os Critérios de Aceitação definidos em contrato, a cargo dos Fiscais Técnico e Requisitante do Contrato [BRASIL 2010].

Considerando o princípio ágil de valoração de produto sobre documentação abrangente, com objetivo de melhorar a qualidade interna utilizando de práticas do eXtreme Programming, como por exemplo, desenvolvimento orientado a testes, refatoração e integração contínua do código-fonte [Beck 1999b] e que alínea b) do art 25 da IN04 especifica a necessidade da criação de critérios de aceitação, foi elaborada a seguinte questão de pesquisa:

Considerando que alínea b) do art 25 da IN04 especifica a necessidade de critérios de aceitação e que as metodologias ágeis tem como princípio a qualidade do produto, o objetivo desta pesquisa foi: **analisar o código-fonte com propósito de aferir a qualidade interna com respeito a aceitação do produto do ponto de vista do fiscal técnico do contrato no contexto da contratação de desenvolvimento de software por parte da Administração Pública Federal**

2. Medição da Qualidade Interna do Produto

A qualidade interna do produto de software pode ser medida, ainda em ambiente de desenvolvimento, por meio da avaliação de estruturas internas que compõem o sistema de

software [ISO/IEC 25023 2011], sendo que as métricas extraídas diretamente do código-fonte são bons indicadores de qualidade interna de produto [Beck 2003], pois são métricas objetivas e com características como validade, simplicidade, objetividade, fácil obtenção e robustez [Mills 1999].

Visando a identificação de um conjunto pequeno porém representativo de métricas de código-fonte que possam aferir a qualidade interna do produto de software em desenvolvimento, realizou-se uma revisão da literatura buscando identificar métricas para conceitos amplamente conhecidos como o tamanho do código-fonte que foi um dos primeiros conceitos mensuráveis do software; a complexidade que aumenta à medida que o software é evoluído, sendo que métricas de complexidade estão ligadas as métricas de tamanho [Lehman 1980]; e métricas associadas a bom design no paradigma da orientação à objetos. Estas métricas foram reunidas e são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Conjunto de Métricas de Código-Fonte

Métrica	Descrição
ACCM (<i>Average Cyclomatic Complexity per Method</i>)	Essa métrica pode ser representada através de um grafo de fluxo de controle, sendo que o uso de estruturas de controle, tais como, {if, else, while} aumentam a complexidade ciclomática de um de um método [McCabe 1976].
ANPM (<i>Average Number of Parameters per Method</i>)	Calcula a média de parâmetros dos métodos da classe [Basili and Rombach 1987].
AMLOC (<i>Average Method Lines of Code</i>)	Indica se o código está bem distribuído entre os métodos [Meirelles 2013].
CBO (<i>Coupling Between Objects</i>)	Número total de classes dentro de um pacote que dependem de classes externas ao pacote [Chidamber and Kemerer 1994].
NOC (<i>Number of Children</i>)	Número de subclasses ou classes filhas que herdam da classe analisada [Rosenberg and Hyatt 1997].
NPA (<i>Number of Public Attributes</i>)	mede o encapsulamento de uma classe, pois é recomendado que uma os atributos devem manipulados por meio dos métodos de acesso [Beck 1997].
LCOM4 (<i>Lack of Cohesion in Methods</i>)	Número de componentes (métodos e atributos) fracamente conectados a uma classe [Hitz and Montazeri 1995].
RFC (<i>Response For a Class</i>)	Número de métodos dentre todos os métodos que podem ser invocados em resposta a uma mensagem enviada por um objeto de uma classe [Sharble and Cohen 1993].

Em um trabalho recente sobre a análise de métricas de código-fonte, foi observado o comportamento estatístico das métricas de código-fonte de 38 projetos de software livre com mais de 100.000 downloads em um esforço de análise de mais de 300.000 classes. Entre os softwares analisados estão Tomcat, OpenJDK, Eclipse, Google Chrome, VLC e entre outros que foram desenvolvidos em C, C++ e Java [Meirelles 2013]. Neste tra-

balho, concluiu-se que há valores muitos frequentes, frequentes, pouco frequentes e não frequentes para softwares escritos em uma mesma linguagem de programação. Ao considerarmos a linguagem Java e o softwares que obtiveram os melhores resultados, como Eclipse e o OpenJDK 8, obtiveram-se as configurações tal como se mostra na Tabela 2.

Tabela 2. Configurações para os Intervalos das Métricas

Métrica	Intervalos de Frequência			
	Muito Frequente	Frequente	Pouco Frequente	Não Frequente
ACCM	[0 a 2,8]	[2,9 a 4,4]	[4,5 a 6,0]	Acima de 6
AMLOC	[0 a 8,3]	[8,4 a 18]	[19 a 34]	Acima de 34
ANPM	[0 a 1,5]	[1,6 a 2,3]	[2,4 a 3,0]	Acima de 3
CBO	[0 a 3,0]	[4 a 6]	[7 a 9]	Acima de 9
LCOM4	[0 a 3,0]	[4 a 7]	[8 a 12]	Acima de 12
NPA	[0]	[1]	[2 a 3]	Acima de 3
NOC	[0 a 1]	[2]	[3]	Acima de 3
RFC	[0 a 9]	[10 a 26]	[27 a 59]	Acima de 59

Em outros trabalhos como os de Marinescu [Marinescu 2005], Moha [Moha et al. 2010] e Rao [Rao and Reddy 2007], foi mostrado é possível detectar pedaços de código-fonte que podem ser melhorado [Fowler 1999], com a utilização de métricas de código-fonte como forma de detecção. [Machini et al. 2010], tendo como base alguns destes trabalhos, construiu um mapeamento entre as métricas de código-fonte e as técnicas e práticas de limpeza de código-fonte propostas por [Martin 2008] e [Beck 2007] de forma a construir cenários que indicam a possibilidade de melhoria no código-fonte.

Considerando alguns cenários do trabalho de Machini [Machini et al. 2010] como base, foram construídos mapeamentos chamados de cenários de limpeza de código-fonte, que são mostrados Tabela 3. Cada cenário foi identificado por um nome, características da disposição do código-fonte, recomendações a fim de eliminar o pedaço de código não coeso e a forma de detecção pelos intervalos de frequência do trabalho de Meirelles [Meirelles 2013] que é compatível também com a forma de detecção apresentada nos trabalhos de Marinescu, Moha e Rao.

A partir da identificação dos cenários de limpeza de código-fonte e da contagem do número de classes em uma determinada *release* do software, criou-se Taxa de Aproveitamento de Oportunidade de Melhoria de Código-Fonte como uma indicador objetivo de melhoria da qualidade do código-fonte, sendo que este é descrito conforme a Equação 1.

$$T_r = \frac{Ce_r}{Cl_r} \quad (1)$$

onde Ce_r é o total de cenários de limpeza em uma release e Cl_r é a quantidade classes na mesma release.

Com a identificação em um processo automatizado dos cenários e o cálculo da taxa de aproveitamento de oportunidades, é possível fornecer meios de verificação da qualidade código-fonte aos fiscais técnicos do contratos de desenvolvimento de software,

Tabela 3. Cenários de Limpeza de Código-Fonte

Cenário de Limpeza	Características	Recomendações	Forma de Detecção
Classe Pouco Coesa	Classe Subdivida em grupos de métodos que não se relacionam.	Reduzir a subdivisão da Classe.	Intervalos Pouco Frequente e Não Frequente de LCOM4, RFC.
Interface dos Métodos	Elevada Média de parâmetros repassados pela Classe.	Minimizar o número de Parâmetros.	Intervalos Pouco Frequente e Não Frequente de ANPM.
Classes com muitos filhos	Muitas Sobreescritas de Métodos	Trocar a Herança por uma Agregação.	Intervalos Pouco Frequente e Não Frequente de NOC.
Classe com métodos grandes e/ou muitos condicionais	Grande Número Efetivo de Linhas de Código	Reduzir o número de linhas dos seus métodos, Quebra de métodos.	Intervalos Pouco Frequente e Não Frequente de AMLOC, ACCM.
Classe com muita Exposição	Grande Número de Parâmetros Públicos	Reduzir o Número de Parâmetros Públicos.	Intervalos Pouco Frequente e Não Frequente de NPA.
Complexidade Estrutural	Grande Acooplamento entre Objetos	Reduzir a aquantidade de responsabilidades dos Métodos.	Intervalos Pouco Frequente e Não Frequente de CBO e LCOM4.

de forma a introduzir a cultura de melhoria contínua da qualidade interna do produto em ciclos futuros de desenvolvimento do software.

3. Solução para Automação do Processo de Medição da Qualidade Interna do Produto

Visando atingir a automação do processo de medição de qualidade interna do produto por meio de técnicas não intrusivas no ambiente de desenvolvimento de software, realizou-se uma revisão bibliográfica da literatura em busca de ambientes de informação permitissem o uso de ferramentas (não intrusivas) para automatizar a coleta e o uso de sofisticadas técnicas de análise de dados [Gopal et al. 2005]. Trabalhos como o de Palza [Palza et al. 2003], Ruiz [Ruiz et al. 2005], Castellanos [Castellanos et al. 2005], Becker [Becker et al. 2006], Folleco [Folleco et al. 2007] e Silveira [Silveira et al. 2010], evidenciaram que ambientes de *Data Warehousing* são boas soluções para se automatizar um programa de métricas em processos de desenvolvimento de software.

Data Warehousing é uma coleção de tecnologias de suporte à decisão disposta a capacitar os responsáveis por tomar decisões a fazê-las de forma mais rápida [Chaudhuri and Dayal 1997] [Rocha 2000]. Em outras palavras, trata-se de um processo para gerenciar dados vindos de várias fontes, com o objetivo de prover uma visão analítica de parte ou do todo do negócio em repositório central chamado de *data warehouse* [Gardner 1998] [Kimball and Ross 2002]. A arquitetura de um ambiente de *data warehousing* pode

ser vista na Figura 2.

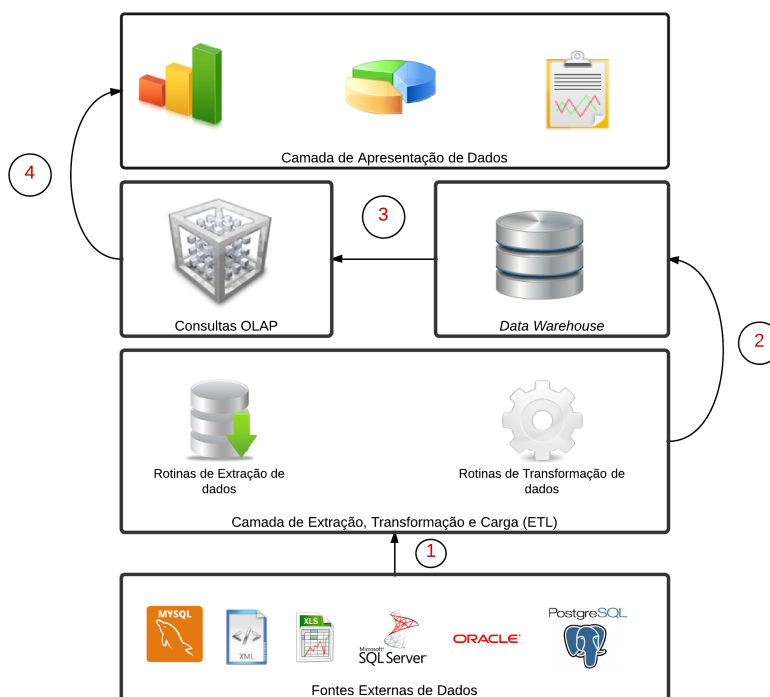


Figura 2. Arquitetura do Ambiente de *Data Warehousing*

Na Figura 2, as setas 1 e 2 representam o processo de *Extraction-Transformation-Load (ETL)* que é o processo de extração, transformação e carga dos dados de forma automática e não intrusiva ao ambiente de desenvolvimento. Este processo pode consumir até 85% de todo o esforço em um ambiente de *Data Warehousing* [Kimball and Ross 2002]; A seta 3 representa as consultas *On-Line Analytical Processing (OLAP)* que são operações de consulta e análise realizadas sobre *data warehouse* projetado sobre um modelo dimensional [Kimball and Ross 2002] [Codd et al. 1993]; A seta 4 representa a visualização dos dados em forma de gráficos, tabelas ou painéis customizáveis conhecidos como *dashboards*.

A implementação do ambiente de *data warehousing* mostrado na figura 2 se deu pela ferramenta Analizo¹, responsável por coletar as métricas de código-fonte, a suite Pentaho BI Community², que dispõe de ferramentas de ETL e OLAP, um banco de dados MariaDB³ modelado sobre um modelo dimensional e o plugin Saiku Analytics⁴ para visualização de dados.

4. Estudo de Caso

Visando a validação da solução apresentada na Seção 3, foram consultadas as instituições citadas pelo Acórdão no 2314/2013 [BRASIL 2013a]. Dentre elas, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) que é autarquia da administração

¹Disponível em <http://analizo.org/>

²Disponível em <http://community.pentaho.com/>

³Disponível em <http://mariadb.org/>

⁴Disponível em <http://meteorite.bi/saiku>

pública federal responsável pela gestão de diversos processos de preservação do patrimônio cultural, permitiu o acesso ao processo, documentos e o código-fonte Sistema Integrado de Gestão do Conhecimento (SICG), um dos primeiros softwares desenvolvidos sob um contrato de terceirização de serviços com a utilização de metodologias ágeis.

O Sistema Integrado de Gestão do Conhecimento (SICG) teve como objetivo automatizar o processo de trabalho decorrente da metodologia de inventário, cadastro, normatização, fiscalização, planejamento e análise e gestão do patrimônio material. Esta solução de software foi construída na linguagem Java com a utilização de *frameworks* como VRaptor e Hibernate, durante 24 *releases* mensais. Possui um total 39.790 linhas de código distribuídas em 914 classes.

4.1. Protocolo do Estudo de Caso

Seguindo a metodologia proposta por Wohlin [Wohlin et al. 2012], foi construído um protocolo de estudo de caso que foi baseado em Brereton [Brereton et al. 2008] quanto aos aspectos gerais e Yin [Yin 2011] com relação as ameaças à validade do estudo.

O objeto do estudo de caso é o ambiente de DWing projetado e implementado conforme apresentado na seção 3. A fonte de coleta dos dados, foi o código fonte do SICG. A partir do objetivo da pesquisa, foram elaborados objetivos específicos do estudo de caso utilizando o GQM [Basili et al. 1996]. Nesta abordagem cada objetivo específico derivou uma série de questões específicas que são respondidas com métricas específicas, tal como se mostra na Tabela 4

Objetivo Específico	Questão Específica	Métricas Específicas
OE1 - Automatizar o processo de medição da qualidade do código-fonte do produto de software	QE1 - Quais e Quantos são os passos necessários para medir a qualidade do código-fonte do produto de software de forma automatizada?	M1 - Quantidade de passos do processo de medição da qualidade do código-fonte automatizados.
OE2 - Avaliar a qualidade global do código-fonte do software	QE2 - Quais são os indicadores de código-limpo em um código-fonte de um determinado projeto?	M2 - Quantidade de Cenários de Limpeza identificados em um determinado projeto
OE3 - Avaliar a qualidade local do código-fonte do software	QE3 - Quais são os indicadores de código-limpo em um código-fonte de uma determinada classe/módulo?	M3 - Quantidade de Cenários de Limpeza identificados em uma determinada classe/módulo
OE4 - Medir qual é o aproveitamento de oportunidades de melhoria de código-Fonte	QE4 - Qual é o aproveitamento de oportunidades de melhoria de código-fonte em um determinado Projeto?	M4 - Taxa de Aproveitamento de Oportunidades de Melhoria de Código-Fonte.

Tabela 4. Objetivos Específicos do Estudo de Caso

Com relação as ameaças citadas por Yin, a validade de construção pôde ser obtida com utilização da abordagem GQM para selecionar indicadores que representem a

realidade conhecida. Com relação a validade interna do estudo está garantida quando se consegue observar as relações causais e todos os elementos que as compõem. No presente estudo de caso, a taxa de aproveitamento de oportunidades de refatoração é diretamente dependente da quantidade de cenários de limpeza identificados desde que o número de classes permaneça o mesmo. Quanto a validade externa, destaca-se que a utilização de um estudo de caso não é suficiente para generalizar os resultados deles obtidos, sendo necessário a utilização de estudo em múltiplos casos, a fim de comprovar resultados genéricos [Yin 2011]. Com relação a confiabilidade, a partir da documentação da implementação do ambiente de *Data Warehousing* conjuntamente com o protocolo de estudo de caso e as bases de dados das métricas de código-fonte, garante-se a repetição do estudo de caso e por conseguinte a confiabilidade.

4.2. Execução e Resultados do Estudo de Caso

Para analisar os cenários de limpeza de código-fonte, foram extraídas as métricas de código-fonte de cada classe e analisadas conforme a Tabela 3. Para cada *release*, foram identificados, conforme a Figura 3, os cenários de limpeza de código-fonte. Para se mostrar maior nível de detalhes dos cenários de limpeza de código-fonte, realizou-se uma consulta OLAP de *Drill-Down*, que tem objetivo de expor mais detalhes na visualização dos dados [Kimball and Ross 2002], sobre o modelo dimensional do *data warehouse*.

Nome do Cenário de Limpeza	Sistema Integrado de Controle e Gestão																		
	OS02	OS04	OS05	OS07	OS08	OS09	OS10	OS11	OS12	OS13	OS14	OS16	OS17	OS19	OS20	OS21	OS22	OS23	OS24
Classe Pouco Coesa	4	9	11	20	26	29	36	47	51	54	55	62	65	66	70	71	73	74	75
Classe com muita Exposição										1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Classe com métodos grandes e/ou muitos condic	1	1		1	3	3	4	4	6	13	15	16	19	22	20	22	22	19	19
Classes com muitos filhos	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5
Complexidade Estrutural	15	33	40	64	85	90	108	146	151	158	169	193	201	211	220	226	229	229	230
Interface dos Métodos	6	8	8	8	16	15	24	37	44	48	47	52	56	58	61	64	64	66	66

Figura 3. Total de Cenários de Limpeza de Código-Fonte identificados por cenário e Release

A fim de se obter o número total de cenários de limpeza por cada uma das releases de software analisadas, como se observa na Figura 4, foi realizada uma consulta OLAP de *Drill-Up*, que tem o objetivo de agregar o nível de visualização dos dados [Kimball and Ross 2002], sobre os dados obtidos na Figura 3.

Nome do Projeto	OS02	OS04	OS05	OS07	OS08	OS09	OS10	OS11	OS12	OS13	OS14	OS16	OS17	OS19	OS20	OS21	OS22	OS23	OS24
Sistema Integrado de Controle e Gestão	27	52	60	94	131	138	173	236	254	277	290	329	347	363	377	389	394	395	397

Figura 4. Total de Cenários de Limpeza de Código-Fonte por Release

Conforme é possível observar nas Figuras 3 e 4, foram detectados mais cenários de limpeza de código-fonte dos tipos **Complexidade Estrutural**, que corresponde entre 55% a 68% da quantidade total de cenários identificados; **Classe Pouco Coesa** e **Interface dos Métodos** respectivamente. Os três Cenários de Limpeza com menor número de incidências foram **Classe com Muita Exposição**, **Classe com Muitos Filhos** e **Classe com Métodos Muito Grande e/ou com muitos condicionais**.

Considerando que é importante conhecer as classes com maior incidência de problemas com relação limpeza de código-fonte, foram identificadas, como se mostra na Figura 5, as 10 classes que apresentaram a maior quantidade de cenários de limpeza de

código-fonte. Para se obter a informação desta consulta foram necessária uma consulta OLAP de *Drill Down* sobre algumas dimensões e outra de *Slice and Dice*, que tem o objetivo de selecionar os dados, sobre o resultado a consulta de *Drill-Down*.

Colunas	Quantidade de Cenários de Limpeza
Linhas	Nome da Classe
Filtros	

Nome da Classe	Quantidade de Cenários de Limpeza
br::gov::iphan::sig::apresentacao::controllers::BemProtecaoController	54
br::gov::iphan::sig::apresentacao::controllers::BemImovelCaracterizacaoInternaController	48
br::gov::iphan::sig::apresentacao::controllers::AcaoController	46
br::gov::iphan::sig::apresentacao::controllers::BemImovelCaracterizacaoExternaController	46
br::gov::iphan::sig::apresentacao::controllers::BemMaterialController	45
br::gov::iphan::sig::apresentacao::controllers::BemMultimediaController	43
br::gov::iphan::sig::persistencia::dao::impl::BemDAOImpl	40
br::gov::iphan::sig::apresentacao::controllers::BemController	39
br::gov::iphan::sig::apresentacao::controllers::ContextoImediatoController	39
br::gov::iphan::sig::apresentacao::controllers::BemImovelLoteController	38

Figura 5. As 10 classes com maior número identificado de Cénários de Limpeza

Com a quantidade de classes e o total de cenários de limpeza de código-fonte, foi possível calcular a Taxa de Aproveitamento de Oportunidade de Melhoria de Código-Fonte por cada release do software conforme se mostra na Figura 6.

Nome do Projeto	OS	Numero de Classes	Quantidade de Cenários de Limpeza de Código	Taxa de Aproveitamento de Oportunidades de Melhoria de Código
Sistema Integrado de Controle e Gestão	OS02	69	27	0,39
	OS04	104	52	0,50
	OS05	125	60	0,48
	OS07	222	94	0,42
	OS08	294	131	0,45
	OS09	300	138	0,46
	OS10	360	173	0,48
	OS11	474	236	0,50
	OS12	532	254	0,48
	OS13	568	277	0,49
	OS14	613	290	0,47
	OS16	730	329	0,45
	OS17	769	347	0,45
	OS19	805	363	0,45
	OS20	861	377	0,44
	OS21	889	389	0,44
	OS22	899	394	0,44
	OS23	908	395	0,44
	OS24	914	397	0,43

Figura 6. Taxa de Aproveitamento de Oportunidades de Melhoria de Código-Fonte

Observa-se, por meio da Figura 6, que o valor da Taxa de Aproveitamento de Oportunidade de Melhoria de Código-Fonte possui uma tendência entre 0,4 a 0,5. Este fato pode indicar duas hipóteses: a primeira de que o projeto cresceu em uma taxa muito maior que a quantidade de cenários de limpeza, indicando assim uma estabilidade na complexidade do projeto; ou que não foram promovidas atividades de melhoria de código-fonte ao longo das 24 releases.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Considerando o objetivo de automatizar o processo de medição da qualidade interna do produto de software (objetivo específico OE1) como divisor entre incorporação da qualidade do código-fonte como critério de aceitação do produto, acredita-se que o ambiente de *data warehousing* pode configurar uma boa solução para automatizar a medição de qualidade do código-fonte, pois foram automatizados desde a extração das métricas de código-fonte, a interpretação dos cenários de limpeza de código-fonte, o cálculo da taxa de aproveitamento das oportunidades de melhoria do código-fonte até a exibição dos dados em tabelas e gráficos.

Com os resultados apresentados na Seção 4.2, verifica-se que uma outra contribuição ambiente de *data warehousing* foi alcançada por meio das consultas OLAP que permitiram flexibilidade necessária para se avaliar tanto em nível de projeto (objetivo específico OE2), quanto em nível local (objetivo específico OE3) a saúde do projeto com relação a qualidade do código-fonte. Por meio de um ambiente de *data warehousing* semelhante ao apresentado, os fiscais técnicos dos contratos podem contar com mecanismos rápidos de auditoria sobre a qualidade do código-fonte, de forma seja possível atribuir níveis de aceitação com relação a qualidade do código-fonte.

Cabe ressaltar que o IPHAN não realizou análise das métricas de código-fonte e nem pediu a contratada que documentasse as atividades de refatoração de código-fonte ao longo da execução do contrato, logo não se pôde aprofundar nas investigações das duas hipóteses levantadas (na Seção 4.2) com relação ao comportamento da taxa de aproveitamento de oportunidades de melhoria do código-fonte (objetivo OE4). Como trabalho futuro, recomenda-se que essa investigação das hipóteses seja feita nos órgãos citados pelo Acórdão no 2314/2013 [BRASIL 2013a], em que seja possível acompanhar as atividades de refatoração do código-fonte ao longo do desenvolvimento de software.

Referências

- Basili, V. R., Caldiera, G., and Rombach, H. D. (1996). *The Goal Question Metric Approach*. Encyclopedia of Software Engineering.
- Basili, V. R. and Rombach, H. D. (1987). TAME: Integrating Measurement into Software Environments.
- Beck, K. (1997). *Smalltalk Best Practice Patterns. Volume 1: Coding*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Beck, K. (1999a). Embracing change with extreme programming. *Computer*, 32(10):70–77.
- Beck, K. (1999b). *Extreme Programming Explained*. Addison Wesley.
- Beck, K. (2003). *Test-driven development: by example*. Addison-Wesley Professional.
- Beck, K. (2007). *Implementation patterns*. Pearson Education.
- Becker, K., Ruiz, D. D., Cunha, V. S., Novello, T. C., and Vieira e Souza, F. (2006). Spdw: A software development process performance data warehousing environment. In *Proceedings of the 30th Annual IEEE/NASA Software Engineering Workshop, SEW '06*, pages 107–118, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- BRASIL (1993). *Lei nº 8.666/93, de 21 de Junho de 1993*. Brasília, Brasil.
- BRASIL (2010). *Instrução Normativa nº 04*. Tribunal de Contas da União, Brasília, Brasil.

- BRASIL (2013a). *Acórdão nº 2314*. Tribunal de Contas da União, Brasília, Brasil.
- BRASIL (2013b). *Modelo de Contratação de Soluções de TI*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasília, Brasil.
- Brereton, P., Kitchenham, B., Budgen, D., and Li, Z. (2008). Using a protocol template for case study planning. In *Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. University of Bari, Italy.
- Castellanos, M., Casati, F., Shan, M.-C., and Dayal, U. (2005). ibom: A platform for intelligent business operation management. In *Proceedings of the 21st International Conference on Data Engineering*, ICDE '05, pages 1084–1095, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Chaudhuri, S. and Dayal, U. (1997). An overview of data warehousing and olap technology. *ACM Sigmod record*, 26(1):65–74.
- Chidamber, S. R. and Kemerer, C. F. (1994). A Metrics Suite for Object-Oriented Design. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 20(6):476–493.
- Codd, E. F., Codd, S. B., and Salley, C. T. (1993). Providing OLAP (On-Line Analytical Processing) to User-Analysis: An IT Mandate.
- Folleco, A., Khoshgoftaar, T. M., Hulse, J. V., and Seiffert, C. (2007). Learning from software quality data with class imbalance and noise. In *Proceedings of the Nineteenth International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering (SEKE 2007)*, Boston, Massachusetts, USA, July 9-11, 2007, page 487. Knowledge Systems Institute Graduate School.
- Fowler, M. (1999). *Refactoring: improving the design of existing code*. Addison-Wesley Professional.
- Gardner, S. R. (1998). Building the. *Communications of the ACM*, 41(9):53.
- Gopal, A., Mukhopadhyay, T., and Krishnan, M. S. (2005). The impact of institutional forces on software metrics programs. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, 31(8):679–694.
- Hitz, M. and Montazeri, B. (1995). Measuring Coupling and Cohesion in Object-Oriented Systems. In *Proceedings of International Symposium on Applied Corporate Computing*.
- ISO/IEC 25023 (2011). ISO/IEC 25023: Systems and software engineering - systems and software quality requirements and evaluation (square) - measurement of system and software product quality. International Standard 25023, International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission.
- Kimball, R. and Ross, M. (2002). *The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 2nd edition.
- Lehman, M. M. (1980). Programs, life cycles, and laws of software evolution. *Proc. IEEE*, 68(9):1060–1076.
- Machini, J. a., Almeida, L., Kon, F., and Meirelles, P. R. M. (2010). Código Limpo e seu Mapeamento para Métricas de Código-Fonte.
- Marinescu, R. (2005). Measurement and quality in object-oriented design. In *Software Maintenance, 2005. ICSM'05. Proceedings of the 21st IEEE International Conference on*, pages 701–704. IEEE.
- Martin, R. C. (2008). *Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship*, volume 1.
- McCabe, T. J. (1976). A Complexity Measure. *IEEE Transactions Software Engineering*, 2(4):308–320.
- Meirelles, P. R. M. (2013). *Monitoramento de métricas de código-fonte em projetos de software livre*. PhD thesis, Universidade de São Paulo (IME/USP).

- Mills, E. E. (1999). Metrics in the software engineering curriculum. *Ann. Softw. Eng.*, 6(1-4):181–200.
- Moha, N., Guéhéneuc, Y.-G., Duchien, L., and Le Meur, A.-F. (2010). Decor: A method for the specification and detection of code and design smells. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, 36(1):20–36.
- Palza, E., Fuhrman, C., and Abran, A. (2003). Establishing a generic and multidimensional measurement repository in cmmi context. In *Software Engineering Workshop, 2003. Proceedings. 28th Annual NASA Goddard*, pages 12–20. IEEE.
- Rao, A. A. and Reddy, K. N. (2007). Detecting bad smells in object oriented design using design change propagation probability matrix 1.
- Rocha, A. B. (2000). Guardando históricos de dimensões em data warehouses.
- Rosenberg, L. H. and Hyatt, L. E. (1997). Software Quality Metrics for Object-Oriented Environments. *Crosstalk - the Journal of Defense Software Engineering*, 10.
- Ruiz, D. D. A., Becker, K., Novello, T. C., and Cunha, V. S. (2005). A data warehousing environment to monitor metrics in software development processes. In *16th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2005), 22-26 August 2005, Copenhagen, Denmark*, pages 936–940. IEEE Computer Society.
- Sharble, R. and Cohen, S. (1993). The Object-Oriented Brewery: A Comparison of Two Object-Oriented Development Methods. *Software Engineering Notes*, 18(2):60–73.
- Silveira, P. S., Becker, K., and Ruiz, D. D. (2010). Spdw+: a seamless approach for capturing quality metrics in software development environments. *Software Quality Control*, 18(2):227–268.
- Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M. C., Regnell, B., and Wesslén, A. (2012). *Experimentation in software engineering*. Springer.
- Yin, R. K. (2011). *Applications of case study research*. Sage.