

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA COMPUTAÇÃO**

Extensão da técnica Earned Value  
Management utilizando dados da qualidade  
em projetos de software.

**Christopher de Souza Lima Francisco**

Itajubá, 23 de maio de 2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA COMPUTAÇÃO**

**Christopher de Souza Lima Francisco**

**Extensão da técnica Earned Value  
Management utilizando dados da qualidade  
em projetos de software.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Computação como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Tecnologia da Computação.

**Área de Concentração: Matemática da Computação**

**Orientador: Prof. Dr. Adler Diniz de Souza**

**23 de maio de 2019**

**Itajubá**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA COMPUTAÇÃO

Extensão da técnica Earned Value  
Management utilizando dados da qualidade  
em projetos de software.

**Christopher de Souza Lima Francisco**

Dissertação aprovada por banca examinadora em  
03 de Maio de 2019, conferindo ao autor o título  
de **Mestre em Ciências em Tecnologia da  
Computação.**

***Banca Examinadora:***

Prof. Dr. Leonardo Augusto dos Santos Oliveira  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches da Silva  
Prof. Dr. Rafael de Magalhães Dias Frinhani  
Prof. Dr. Adler Diniz de Souza

**Itajubá  
2019**

# Agradecimentos

Agradeço aos meus pais pelo suporte absoluto em todos os momentos desta jornada, pelo amor incondicional e por me ensinarem os valores da vida.

Ao meu irmão por todo suporte e aprendizado.

Aos familiares e amigos pelo apoio, momentos de descontração e caronas para Itajubá.

Ao Inatel por me apoiar na busca pela conclusão deste trabalho.

Ao meu orientador e professor por me guiar e mostrar os melhores caminhos. Pela confiança de que conseguiríamos realizar o trabalho, pelos ensinamentos, pelas reuniões fora do horário, pela paciência e pelo apoio financeiro nos eventos.

Aos professores e colegas da UNIFEI.

A Deus por mostrar o caminho nos momentos mais difíceis.

Aos professores da banca pelas contribuições.

# Resumo

Esse trabalho apresenta uma extensão da técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA), do inglês, Earned Value Management (EVM).

A extensão apresentada integra dados da qualidade, baseados em requisitos de qualidade, para atualizar indicadores tradicionais da técnica de GVA.

A proposta tem como objetivo principal melhorar a previsibilidade do Indicador de Desempenho de Custo (IDC) e Indicador de Desempenho de Prazo (IDP) e introduzir medidas de qualidade a técnica de GVA.

A técnica proposta foi avaliada de acordo com uma metodologia baseada em evidência. Os estudos conduzidos mostraram melhor exatidão na técnica proposta de extensão da técnica de GVA em relação à técnica tradicional de GVA.

**Palavras-chaves:** GVA. IDC. IDP. Qualidade. EVM.

# Abstract

This work presents an extension of the Earned Value Management (EVM) technique.

The proposed technique integrates quality data, based on quality requirements, to update traditional EVM indexes.

The main objective of this proposal is to improve the predictability of the Cost Performance Index (CPI) and the Schedule Performance Index (SPI) and introduce quality measures to the EVM technique.

The proposed technique was evaluated in accordance with an evidence-based methodology.

The studies conducted showed a better accuracy in the proposed technique of extension of the EVM technique in relation to the traditional EVM technique.

**Key-words:** EVM. CPI. SPI. Quality.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Qualidade do Produto de Software ISO/IEC 25010:2011 . . . . .	27
Figura 2 – Fluxo do modelo de simulação . . . . .	59
Figura 3 – Erro dos indicadores IDC, IDP, IDCQ e IDPQ ao longo da execução do projeto . . . . .	70
Figura 4 – Quadro com palavras chaves . . . . .	93
Figura 5 – Quadro para controle e Pesquisa Manual . . . . .	93
Figura 6 – Qualidade do Produto de Software ISO/IEC 25010:2011 . . . . .	129

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Exemplo de rastreabilidade de características analisadas em cada atividade, seguindo a norma ISO/IEC 25010:2011 e as contribuições de (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010) . . . . .	32
Tabela 2 – Pesos de cada subcaracterística utilizados para análise de informações de qualidade . . . . .	35
Tabela 3 – Atividades do projeto de software . . . . .	40
Tabela 4 – Esforço Estimado e Esforço Real para as atividades do projeto nas quatro fases do ciclo de vida . . . . .	41
Tabela 5 – Informações do projeto em todas as fases do ciclo de vida . . . . .	42
Tabela 6 – Rastreabilidade das características analisadas em cada atividade, seguindo a norma ISO/IEC 25010:2011 e as contribuições de (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010) . . . . .	45
Tabela 7 – Informações de qualidade nas fases do ciclo de vida do projeto . . . . .	47
Tabela 8 – Informações de qualidade (CCQ, CRQP, VPQ, IDCQ e IDPQ) . . . . .	50
Tabela 9 – Indicadores CR e CRQP simulados em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto . . . . .	61
Tabela 10 – Indicadores VP e VPQ simulados em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto . . . . .	63
Tabela 11 – Indicadores IDC e IDCQ simulados em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto . . . . .	65
Tabela 12 – Indicadores IDP e IDPQ simulados em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto . . . . .	67
Tabela 13 – Erro ou exatidão dos indicadores em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto . . . . .	69
Tabela 14 – Testes de hipótese de exatidão de IDC e IDP . . . . .	70
Tabela 15 – Publicações do grupo de controle . . . . .	90
Tabela 16 – Demais publicações do grupo de controle . . . . .	92
Tabela 17 – Publicações da base SCOPUS com critérios de Inclusão e Exclusão . . . . .	98
Tabela 18 – Publicações da base COMPENDEX com critérios de Inclusão e Exclusão . . . . .	99
Tabela 19 – Publicações da base Crosstalk e pesquisas manuais com critérios de Inclusão e Exclusão . . . . .	100

# Siglas

<b>ANS</b>	<i>Acordo de Nível de Serviço</i>	29
<b>CCQ</b>	<i>Custo de Correção de Qualidade</i>	36
<b>CR</b>	<i>Custo Real</i>	21
<b>CRAcum</b>	<i>Custo Real Acumulado</i>	20
<b>CRQP</b>	<i>Custo Real da Qualidade do Projeto</i>	36
<b>CRQPAcum</b>	<i>Custo Real da Qualidade do Projeto Acumulado</i>	36
<b>EVM</b>	<i>Earned Value Management</i>	14
<b>GVA</b>	<i>Gerenciamento de Valor Agregado</i>	14
<b>IDC</b>	<i>Indicador de Desempenho de Custos</i>	22
<b>IDCAcum</b>	<i>Indicador de Desempenho de Custos Acumulado</i>	22
<b>IDCQ</b>	<i>Indicador de Desempenho de Custos com Qualidade</i>	39
<b>IDCQAcum</b>	<i>Indicador de Desempenho de Custos com Qualidade Acumulado</i>	39
<b>IDP</b>	<i>Indicador de Desempenho de Prazos</i>	22
<b>IDPAcum</b>	<i>Indicador de Desempenho de Prazos Acumulado</i>	22
<b>IDPQ</b>	<i>Indicador de Desempenho de Prazos com Qualidade</i>	39
<b>IDPQAcum</b>	<i>Indicador de Desempenho de Prazos com Qualidade Acumulado</i>	39
<b>IDQ</b>	<i>Indicador de Desempenho de Qualidade</i>	35
<b>QRA</b>	<i>Qualidade Real Alcançada</i>	29
<b>QRD</b>	<i>Qualidade Real Desejada</i>	29
<b>VA</b>	<i>Valor Agregado</i>	21
<b>VAAcum</b>	<i>Valor Agregado Acumulado</i>	20
<b>VP</b>	<i>Valor Planejado</i>	37
<b>VPAcum</b>	<i>Valor Planejado Acumulado</i>	20
<b>VPQ</b>	<i>Valor Planejado de Qualidade</i>	37
<b>VPQAcum</b>	<i>Valor Planejado de Qualidade Acumulado</i>	37

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	Motivações	14
1.2	Problema	16
1.3	Objetivo	17
1.4	Metodologia	17
<b>2</b>	<b>A TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DE VALOR AGREGADO</b>	<b>19</b>
2.1	Introdução	19
2.2	Elementos básicos da técnica de Gerenciamento do Valor Agregado (GVA)	20
2.2.1	Valor Planejado Acumulado (VPAcum)	21
2.2.2	Valor Agregado Acumulado (VAAcum)	21
2.2.3	Custo Real Acumulado (CRAcum)	21
2.2.4	Indicador de Desempenho de Prazos (IDPAcum)	22
2.2.5	Indicador de Desempenho de Custos (IDCAcum)	22
2.3	Limitações Apresentadas Pela Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA)	23
2.4	Considerações Finais	24
<b>3</b>	<b>INTEGRAÇÃO DE DADOS DA QUALIDADE À TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DE VALOR AGREGADO (GVA)</b>	<b>25</b>
3.0.1	Informações de Qualidade	28
3.0.1.1	Indicador de Desempenho de Qualidade (IDQ)	35
3.0.1.2	Custo de Correção de Qualidade (CCQ)	36
3.0.1.3	Custo Real da Qualidade do Projeto (CRQPAcum)	36
3.0.1.4	Valor Planejado de Qualidade (VPQAcum)	37
3.0.1.5	Indicador de Desempenho de Custo com Qualidade (IDCQ) e Indicador de Desempenho de Prazo com Qualidade (IDPQAcum)	38
3.0.2	Exemplo de Uso	39
<b>4</b>	<b>AVALIAÇÃO DA EXTENSÃO DA TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DO VALOR AGREGADO ATRAVÉS DE UMA METODOLOGIA EXPERIMENTAL</b>	<b>52</b>
4.1	Introdução	52
4.2	Definição e Planejamento do Estudo de Viabilidade da Técnica Proposta	53

<b>4.3</b>	<b>Caracterização do Projeto</b> . . . . .	<b>55</b>
<b>4.4</b>	<b>Estudo de Viabilidade da Técnica de GVA com Dados da Qualidade</b> . . . . .	<b>55</b>
<b>4.5</b>	<b>Simulação da Técnica Proposta</b> . . . . .	<b>56</b>
4.5.1	Simulação do Indicador de Desempenho de Qualidade (IDQ) . . . . .	59
4.5.2	Simulação do Custo Real (CR) e Custo Real com Qualidade do Projeto (CRQP) . . . . .	59
4.5.3	Simulação do Valor Planejado (VP) e Valor Planejado de Qualidade (VPQ) . . . . .	61
4.5.4	Simulação do Indicador de Desempenho de Custo (IDC) e Indicador de Desempenho de Custo com Qualidade (IDCQ) . . . . .	63
4.5.5	Simulação do Indicador de Desempenho de Prazo (IDP) e Indicador de Desempenho de Prazo com Qualidade (IDPQ) . . . . .	65
4.5.6	Estudo de viabilidade da técnica proposta . . . . .	67
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>72</b>
<b>5.1</b>	<b>Considerações finais</b> . . . . .	<b>72</b>
<b>5.2</b>	<b>Contribuições</b> . . . . .	<b>73</b>
<b>5.3</b>	<b>Perspectivas Futuras</b> . . . . .	<b>73</b>
	 <b>APÊNDICES</b> . . . . .	 <b>75</b>
	 <b>APÊNDICE A – ESTUDO BASEADO EM REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE GERENCIAMENTO DO VALOR AGREGADO E QUALIDADE</b> . . . . .	 <b>76</b>
<b>A.1</b>	<b>Introdução</b> . . . . .	<b>76</b>
<b>A.2</b>	<b>Protocolo do Estudo Baseado em Revisão Sistemática</b> . . . . .	<b>78</b>
A.2.1	Contexto . . . . .	78
A.2.2	Objetivos e questões de pesquisa . . . . .	79
A.2.3	Questões de pesquisa . . . . .	80
<b>A.3</b>	<b>Escopo da pesquisa</b> . . . . .	<b>80</b>
A.3.1	Critérios adotados para seleção das fontes . . . . .	80
A.3.2	Restrições . . . . .	81
A.3.3	Idiomas . . . . .	81
<b>A.4</b>	<b>Métodos de Busca de Publicações</b> . . . . .	<b>81</b>
A.4.1	Procedimentos de Seleção e Critérios . . . . .	82
<b>A.5</b>	<b>Procedimentos para Extração dos Dados</b> . . . . .	<b>86</b>
<b>A.6</b>	<b>Procedimentos para Análise</b> . . . . .	<b>88</b>
<b>A.7</b>	<b>Planejamento e Execução</b> . . . . .	<b>88</b>
<b>A.8</b>	<b>Definição do Escopo e Estudos Preliminares</b> . . . . .	<b>88</b>
<b>A.9</b>	<b>Identificação de Publicações de Controle e Palavras-Chave</b> . . . . .	<b>89</b>

A.9.1	Primeira Rodada . . . . .	90
A.9.2	Segunda Rodada . . . . .	91
A.9.3	Definição das Máquinas de Busca . . . . .	92
<b>A.10</b>	<b>Considerações sobre o Resultado do Estudo . . . . .</b>	<b>93</b>
<b>A.11</b>	<b>Dados Coletados . . . . .</b>	<b>94</b>

**APÊNDICE B – QUESTÕES OBJETIVAS PARA ANÁLISE DA  
NORMA ISO/IEC 25010 E CONTRIBUIÇÕES . . . 129**

<b>B.1</b>	<b>Funcionalidade . . . . .</b>	<b>130</b>
B.1.1	Adequação . . . . .	130
B.1.2	Correções . . . . .	130
B.1.3	Compleitude . . . . .	130
<b>B.2</b>	<b>Desempenho . . . . .</b>	<b>130</b>
B.2.1	Tempo de resposta . . . . .	130
B.2.2	Utilização de recursos . . . . .	130
B.2.3	Capacidade . . . . .	130
<b>B.3</b>	<b>Compatibilidade . . . . .</b>	<b>131</b>
B.3.1	Interoperabilidade . . . . .	131
<b>B.4</b>	<b>Usabilidade . . . . .</b>	<b>131</b>
B.4.1	Adequação . . . . .	131
B.4.2	Erros do Usuário . . . . .	131
B.4.3	Estética . . . . .	131
B.4.4	Proteção . . . . .	131
B.4.5	Facilidade de uso . . . . .	131
<b>B.5</b>	<b>Confiabilidade . . . . .</b>	<b>132</b>
B.5.1	Maturidade . . . . .	132
B.5.2	Disponibilidade . . . . .	132
B.5.3	Recuperabilidade . . . . .	132
<b>B.6</b>	<b>Segurança . . . . .</b>	<b>132</b>
B.6.1	Integridade . . . . .	132
B.6.2	Autenticidade . . . . .	132
B.6.3	Responsabilidade . . . . .	132
<b>B.7</b>	<b>Manutibilidade . . . . .</b>	<b>133</b>
B.7.1	Testabilidade . . . . .	133
B.7.2	Modificabilidade . . . . .	133
<b>B.8</b>	<b>Portabilidade . . . . .</b>	<b>133</b>
B.8.1	Adaptabilidade . . . . .	133
<b>B.9</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>133</b>

<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>134</b>
--------------------	------------

# 1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo apresenta a motivação para esta dissertação de mestrado. Serão também abordados a definição do problema tratado, os objetivos e a metodologia utilizada ao longo da pesquisa.

## 1.1 Motivações

Uma pesquisa feita pelo Project Management Institute (PMI) estimou que atualmente 16,5 milhões de profissionais estão envolvidos com gerência de projetos ao redor do mundo e 25% do Produto Interno Bruto (PIB) é gasto em projetos. O cenário mundial altamente competitivo possui uma necessidade de resultados mais rápidos, com qualidade e custo e prazo menores (VARGAS, 2013).

Segundo (RUBINSTEIN, 2009) o atendimento dos requisitos de prazo, custo e qualidade do cliente pode ser a chave para o sucesso dos projetos.

Durante a execução de um projeto, diversas medidas são coletadas com intuito de avaliar se um projeto atingirá ou não os seus objetivos para garantir a qualidade (RUBINSTEIN, 2009). Indicadores de desempenho são gerados e devem ser analisados periodicamente. Ações corretivas são empregadas caso algum indicador possua desvio maior que o tolerável. Dentre as principais técnicas existentes para análise de desempenho de custo, de prazo e de escopo, a técnica de GVA (*Gerenciamento de Valor Agregado*) ou EVM (*Earned Value Management*), é considerada a mais confiável (LIPKE, 2006).

O Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) é considerada como uma das mais eficientes metodologias para analisar a evolução dos custos e prazos de um projeto e usa como base o desempenho atual da equipe. A GVA ficou mundialmente conhecida quando, na década de 1960, o Departamento de Defesa (DoD), dos Estados Unidos, passou a exigir sua utilização como meio para controlar os custos dos projetos contratados (VANDEVOORDE; VANHOUCHE, 2006).

A GVA provê meios para prever numericamente os valores de custo e prazo de projetos. Estes valores dependem do planejamento feito e das estimativas que são geradas com base na análise dos indicadores de desempenho dos projetos (LIPKE, 2006).

Para que a gestão científica ocorra, é necessário que números e métricas sejam fornecidas (LIPKE, 2006). Informações úteis para o gerenciamento de projetos são fornecidas pela técnica de GVA, como uma base para que os gestores tenham uma descrição quantitativa de seus projetos.

Nos últimos 15 anos, várias fórmulas derivadas de medidas da técnica de GVA têm sido estudadas. As pesquisas com o objetivo de melhorar os resultados de prazo e custo permaneceram paralisadas durante a última década e ainda precisam ser mais profundamente abordadas ([LIPKE, 2006](#)).

Alguns modelos de referência na Engenharia de Software, tais como CMMI-Dev ([SOLOMON, 2013](#)) e MR MPS.Br ([SOFTEX, 2012](#)), necessitam que medidas sejam coletadas e indicadores de desempenho dos processos mais importantes para o alcance dos objetivos da organização sejam desenvolvidos.

Pelo fato da técnica de GVA trabalhar com medidas relacionadas a prazo e custo dos projetos e essas medidas serem importantes para o alcance dos objetivos de negócio das organizações, a técnica pode ser particularmente mais importante no contexto de empresas de software que buscam a alta maturidade, conforme relatado por ([LIPKE, 2003](#)) e ([SOLOMON, 2002](#)).

A técnica de GVA provê medidas importantes relacionadas a prazo e custo de projetos que auxiliam no alcance dos objetivos da organização, por isso pode ser especialmente importante para empresas de software que buscam a alta maturidade, conforme citado por ([LIPKE, 2003](#)) e ([SOLOMON, 2002](#)).

Buscando atingir a alta maturidade, as empresas, de forma geral, têm despertado para a importância da atividade de teste de software como forma de melhorar a qualidade dos seus produtos e manterem-se competitivas no mercado. Além disso, a complexidade das tecnologias utilizadas e dos softwares produzidos tem crescido, tornando-se necessária a utilização de processos, técnicas e ferramentas que permitam a realização de teste de software de maneira sistematizada, de forma à aumentar a qualidade do software com o menor custo possível ([DEISSENBOECK et al., 2009](#)).

Do mesmo modo, técnicas de teste tem sido fortemente debatidas, estudadas e utilizadas em ambientes de desenvolvimento de software com o propósito de aumentar a probabilidade de entregar o software com o menor custo, no menor tempo possível e com maior qualidade. A atividade de teste de software, no entanto, é complexa e demanda tempo considerável para ser realizada, chegando a custar até metade do valor inicial de desenvolvimento de um software ([DEISSENBOECK et al., 2009](#)).

O número de empresas que buscam melhorias em seus processos de desenvolvimento de software é cada dia maior. Além do aumento da produtividade e da diminuição do retrabalho, elas buscam um melhor relacionamento com seus clientes através de melhorias no planejamento e gestão de suas atividades de desenvolvimento e da diminuição no número de defeitos nos produtos entregues ([DEISSENBOECK et al., 2009](#)).

A demanda por qualidade de software trouxe a necessidade de desenvolvimento de modelos para a qualidade para a comunidade de software. Um software de qualidade

é fácil de usar, funciona corretamente, é de fácil manutenção e mantém a integridade dos dados para evitar possíveis falhas, fora ou não, do seu controle. Para o desespero de seus usuários, as falhas se apresentam sem avisos prévios, gerando um impacto econômico e social muitas vezes irremediável (SHEPPERD, 1990).

Os custos resultantes de defeitos ou erros provocados por falha de softwares, tanto para as empresas como para usuários, poderiam ser catastróficos: bancos poderiam perder milhões de dólares e clientes veriam seus dinheiros sumirem. A tecnologia da informação e comunicação estão presentes cada vez mais em todos os níveis das atividades humanas, justificando a importância da qualidade de software e a necessidade de indicadores para garantir a sua eficiência (DEISSENBOECK et al., 2009).

## 1.2 Problema

O problema a ser tratado nesta pesquisa é a ausência da componente de qualidade nos resultados dos indicadores de custo e prazo dos projetos de software que utilizam a técnica de GVA. Vários estudos como (LIPKE et al., 2009) e (HENDERSON; ZWIKAEL, 2008) verificaram instabilidades na técnica, entre elas a falta de integração de dados da qualidade à técnica de GVA (SOLOMON, 2002), (SOLOMON, 2007) e (SOLOMON, 2006).

A respeito da instabilidade mencionada, diversos artigos foram publicados com o objetivo de contribuir com o esforço na inclusão dados da qualidade na técnica de GVA, tais como (SOLOMON, 2007); (LEU et al., 2006); (YERABOLU; INSTITUTE, 2010) e (MA; YANG, 2012). (SOLOMON, 2002) indica a utilização da Capability Maturity Model Integration (CMMI) para fortalecer a adesão da GVA, especialmente relacionado a garantia de qualidade. (YERABOLU; INSTITUTE, 2010) propôs a integração de métricas críticas de qualidade à GVA. (SOLOMON, 2007) mostra um conjunto de princípios e diretrizes que especificam medidas efetivas de desempenho técnico para a utilização em conjunto com a GVA. A falta de dados da qualidade na técnica GVA pode causar projeções erradas e contribuir para a entrega de projetos de software fora do prazo, acima do custo e sem conformidade com as necessidades dos clientes. Projeções erradas podem passar resultados otimistas e postergar a execução de ações corretivas ou preventivas que melhorariam o desempenho final dos projetos, evitando atrasos e custos maiores que os estimados (LIPKE, 2003).

Em 2011, o governo Norte Americano solicitou ao Departamento de Defesa (DoD) dos Estados Unidos que considerasse a inclusão do componente de qualidade no método GVA (SOLOMON, 2002). (YERABOLU; INSTITUTE, 2010) explicou o problema informando que embora a GVA seja eficiente para prover informações de custo e prazo do projeto, ainda é fraco em informar se os requisitos de qualidade estão sendo atendidos.

Para aumentar a previsibilidade e as chances de sucesso dos projetos, a pesquisa desta dissertação focará na melhoria da técnica de GVA, integrando duas das três variáveis mais importantes para se atingir o sucesso nos projetos, que segundo (FLORAC; CARLETON, 1999) e (PUTNAM; MYERS, 2003) são: custo e qualidade.

Assim, a principal questão de pesquisa deste trabalho será: “De qual maneira pode-se integrar novas medidas de qualidade à técnica de GVA para melhorar o desempenho dos seus indicadores tradicionais: Indicador de Desempenho de Custo (IDC) e Indicador de Desempenho de Prazo (IDP), em projetos de software?”.

### 1.3 Objetivo

O principal objetivo desse trabalho é melhorar a previsibilidade de custo e prazo dos projetos de software, integrando a componente de qualidade a técnica do gerenciamento do valor agregado em projetos de software, de acordo com a questão de pesquisa apresentada na seção anterior. O GVA com qualidade tem por objetivo medir a habilidade que um projeto tem de entregar a qualidade requerida durante sua execução.

O objeto de estudo deste trabalho é a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA), visando a melhoria na previsibilidade de custo e prazo de projetos no contexto da gerência de projetos de software. O trabalho será conduzido principalmente sob a perspectiva dos gerentes de projetos ou gerentes de escritórios de projetos, pois eles serão os principais usuários da técnica e dos recursos propostos.

Esta dissertação discutirá os resultados desta pesquisa, apresentando a extensão da técnica de GVA desenvolvida para apoiar o monitoramento e controle de projetos e mostrará como essa extensão elaborada baseou-se nos resultados de estudos secundários.

### 1.4 Metodologia

A proposta de extensão da técnica de GVA desenvolvida nesta pesquisa foi sustentada por uma abordagem baseada em evidência apresentada por (MAFRA; BARCELOS; TRAVASSOS, 2006). A abordagem utilizada é uma extensão da metodologia proposta em (SHULL; CARVER; TRAVASSOS, 2001) utilizada para a introdução de tecnologias de software na indústria, fundamentada em estudos experimentais como forma de determinar o que funciona ou não na aplicação da tecnologia proposta (CONTE et al., 2009).

(MAFRA; BARCELOS; TRAVASSOS, 2006) identificaram a necessidade de executar estudos secundários antes dos estudos primários sugeridos em (SHULL; CARVER; TRAVASSOS, 2001), para que a definição da nova tecnologia pudesse estar baseada em evidências da literatura. Assim, propõem a adoção de atividades iniciais para condução de estudos secundários, mais precisamente revisões sistemáticas. Por estudo secundário

entende-se a execução de um estudo que visa identificar, avaliar e interpretar todos os resultados relevantes em um determinado tópico de pesquisa, fenômeno de interesse ou questão de pesquisa. Uma revisão sistemática é um tipo de estudo secundário (KITCHENHAM, 2004).

Segundo (CONTE et al., 2009) a extensão proposta por (MAFRA; BARCELOS; TRAVASSOS, 2006) é dividida em duas partes:

1. Extensão da proposta
2. Metodologia original definida por (SHULL; CARVER; TRAVASSOS, 2001)

Na primeira parte é feita a definição inicial da tecnologia, com a execução de duas atividades:

1. Execução de estudos secundários para identificação, avaliação e interpretação de todos os resultados relevantes de acordo com a questão de pesquisa desejada.
2. Criação da versão inicial da tecnologia baseando-se nos resultados coletados dos estudos secundários.

Neste trabalho será utilizada uma adaptação da metodologia proposta por (SHULL; CARVER; TRAVASSOS, 2001) e a extensão proposta por (MAFRA; BARCELOS; TRAVASSOS, 2006).

As atividades da metodologia serão utilizadas para o desenvolvimento das novas extensões da técnica de GVA e dos recursos de apoio ao monitoramento e controle de projetos, e são descritas a seguir:

1. **Executar estudos secundários:** foi executado um estudo baseado em revisão sistemática sobre “Gerenciamento de Valor Agregado”, com o objetivo de caracterizar os problemas e as propostas de melhorias na técnica de GVA que visassem integrar a componente de qualidade à técnica tradicional.
2. **Proposta Inicial:** tendo por base a definição dos principais problemas resultantes da revisão sistemática executada, uma versão inicial da proposta foi desenvolvida.
3. **Analisar Viabilidade:** com o objetivo de caracterizar a técnica proposta e verificar sua possibilidade de uso, foram conduzidos estudos de viabilidade, utilizando dados simulados de projetos.

## 2 A TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DE VALOR AGREGADO

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados à técnica de [GVA](#). Apresenta e discute como utilizá-la e como gerar as medidas necessárias para fazer as projeções de custo e de prazo do projeto, com base no esforço da equipe. Apresenta ainda os principais problemas da técnica de GVA, identificados através de um estudo sistemático, e as soluções para os problemas encontrados na técnica de GVA.

### 2.1 Introdução

A técnica do Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) é um método que integra as medidas de escopo, custos e prazo para auxiliar a equipe de gerenciamento a avaliar e medir o desempenho e progresso do projeto ([PMI, 2011](#)). A técnica tem foco na relação entre os custos reais e o trabalho realizado no projeto dentro de determinado período de tempo. O foco está no desempenho obtido em comparação com o que foi gasto para obtê-lo ([FLEMING, 2000](#)).

A técnica de GVA permite a identificação de tendências e desvios do planejamento de forma precoce. Desta forma, permite tempo suficiente para que correções possam ser realizadas ([KERZNER, 2009](#)).

Conforme relatado por ([VARGAS, 2013](#)), a aplicação da técnica de GVA pode ser considerada com maior eficiência em projetos com objetivos claros e bem definidos, com um detalhamento de escopo simples e direto, uma vez que, sem o planejamento estabelecido, os dados de desempenho não podem ser determinados. Um escopo bem definido e controlável permite maior especificação do trabalho a ser realizado, facilitando o processo de medição dos valores reais e agregados, permitindo que o gerente e a equipe de projeto ajustem suas estratégias, façam balanceamentos com base nos objetivos, no desempenho atual do projeto, em tendências, bem como no ambiente no qual o projeto está sendo conduzido ([ANBARI, 2003](#)).

A técnica de GVA possui um papel muito importante no alcance do sucesso dos projetos ([PMI, 2013](#)). Várias questões gerenciais que são consideradas críticas, tais como:

1. O projeto está acima ou abaixo do prazo?
2. Quando o projeto, provavelmente, será finalizado?
3. Quão eficientemente o projeto utiliza seus recursos?

#### 4. O projeto está acima ou abaixo do custo?

são respondidas pela aplicação da técnica de GVA.

Após a aplicação da técnica de GVA em um projeto, ela pode revelar algum desvio relacionado ao cronograma ou ao orçamento (abaixo ou acima do estimado), o gerente de projetos pode usar a técnica de GVA para ajudá-lo a identificar onde o problema está ocorrendo, se o problema é ou não crítico e qual ação fará com que o projeto volte para o planejado (linha base) (PMI, 2013).

Para discutir os problemas e as novas propostas da técnica de GVA, é necessário ter um conhecimento prévio dos principais conceitos relacionados à técnica tradicional. Dessa forma, a próxima seção apresenta os seus principais conceitos, sem discutir os eventuais problemas. Sempre que forem apresentados resultados que mencionem a “abordagem tradicional” da técnica de GVA, trata-se da abordagem descrita a seguir e sempre que forem mencionados a “nova técnica”, trata-se das propostas apresentadas no Capítulo 3.

Também vale ressaltar que tanto a técnica proposta quando a abordagem tradicional possuem indicadores que podem ser mencionados como acumulados ou não. Sempre que um indicador tiver no seu nome a palavra "Acum", trata-se do mesmo indicador porém referenciado na sua forma acumulada. Os conceitos apresentados para todos os indicadores, acumulados ou não, será válido da mesma forma. A diferença básica é que o indicador acumulado se refere ao valor do indicador até um determinado momento da execução de um projeto, enquanto o valor não acumulado é o valor de um momento específico.

## 2.2 Elementos básicos da técnica de Gerenciamento do Valor Agregado (GVA)

Os elementos básicos são os pilares da técnica de gerenciamento do valor agregado, eles representam os dados que serão interpretados. A base para a técnica de GVA está em três medidas:

1. *VPAcum (Valor Planejado Acumulado)*
2. *VAAcum (Valor Agregado Acumulado)*
3. *CRAcum (Custo Real Acumulado)*

Essas medidas são derivadas para gerar outras medidas e indicadores de desempenho (PMI, 2011). A seguir serão descritas cada uma dessas três medidas básicas.

### 2.2.1 Valor Planejado Acumulado (VPAcum)

Uma vez que o escopo do trabalho é definido e sua responsabilidade é atribuída a uma entidade organizacional, o trabalho definido é planejado e programado a execução, os recursos necessários são estimados e os orçamentos autorizados. A soma de todos os orçamentos para todo o trabalho planejado programado dentro de um determinado período de tempo é conhecido como Valor Planejado Acumulado (VPAcum) (OBERNDORF; SLEDGE; STALEY, 2002).

O Valor Planejado Acumulado (VPAcum) é a soma de todos os custos para todo o trabalho planejado programado dentro de um determinado período de tempo (OBERNDORF; SLEDGE; STALEY, 2002). O VPAcum representa o orçamento total esperado para o projeto até uma data específica. É, frequentemente, dito como a linha base de custo do projeto. O valor da linha base de custo é a base para a medida do desempenho atual. A linha base de custo pode ser alterada para refletir mudanças necessárias no escopo do trabalho (PMI, 2013).

De acordo com (PMI, 2011), VPAcum responde a questão: "Qual é o valor (\$) estimado do trabalho planejado?"

### 2.2.2 Valor Agregado Acumulado (VAAcum)

O Valor Agregado Acumulado (VAAcum) representa o valor do trabalho realmente realizado em termos do orçamento atribuído a esse trabalho para uma atividade do projeto (PMI, 2011). O valor de VAAcum mostra o trabalho executado até uma data específica ou um período de tempo e é expresso na forma do valor planejado para o trabalho executado (ANBARI, 2003). O VA (*Valor Agregado*) pode ser calculado multiplicando o trabalho realmente realizado pelo valor planejado como mostra a equação 2.1.

$$VA = \%Executado * VPAcum \quad (2.1)$$

Um exemplo para ilustrar a utilização da medida VAAcum, considere uma atividade com VPAcum = R\$1.000,00; se a quantidade de trabalho realmente realizada é 75%, o valor do VAAcum é de R\$ 750,00.

De acordo com (PMI, 2011), VAAcum responde a questão: "Qual é o valor (\$) estimado do trabalho efetivamente realizado?"

### 2.2.3 Custo Real Acumulado (CRAcum)

O Custo Real Acumulado (CRAcum) é o custo total incorrido para o trabalho realizado. O CRAcum soma todos os valores gastos para finalizar um projeto (PMI, 2011).

De acordo com (PMI, 2011), CRAcum responde a questão: "Qual é o CR (*Custo Real*) incorrido para o trabalho realizado?"

#### 2.2.4 Indicador de Desempenho de Prazos (IDPAcum)

O IDPAcum (*Indicador de Desempenho de Prazos Acumulado*) mostra como está o andamento do projeto em relação ao cronograma preestabelecido (PMI, 2011). É comum que os projetos normalmente apresentem prazos bem curtos, que precisam ser cumpridos para o máximo de aproveitamento, e por isso a avaliação do IDPAcum precisa ser feita. Em outras palavras, o IDPAcum mostra o quão eficientemente a equipe responsável pelo projeto está usando o seu tempo (ANBARI, 2003). Este indicador é bastante utilizado em conjunto com o IDCAcum (*Indicador de Desempenho de Custos Acumulado*), para prever as estimativas de custo e prazo ao final do projeto.

IDP (*Indicador de Desempenho de Prazos*) deve ser interpretado da seguinte forma:

- Se o IDP for igual a 1, é sinal de que o projeto está correndo como o previsto;
- Se o IDP for maior do que 1, presume-se que o projeto está adiantado;
- Se o IDP for menor do que 1, indica que o projeto está atrasado.

O IDPAcum é igual à razão entre o VAAcum e o VPAcum, conforme a equação 2.2 (PMI, 2011):

$$IDPAcum = \frac{VAAcum}{VPAcum} \quad (2.2)$$

O IDPAcum é, frequentemente, utilizado como uma referência do quão eficiente é a utilização dos recursos. Assim, um IDPAcum com valor de 0,50, por exemplo, indicaria que 50% dos recursos estão sendo convertidos em trabalho e que 50% do trabalho está sendo desperdiçado (PMI, 2011).

#### 2.2.5 Indicador de Desempenho de Custos (IDCAcum)

O IDCAcum é considerado o indicador mais crítico da técnica de GVA, porque mede a eficiência de custos do trabalho executado (equação 2.3) (PMI, 2011):

$$IDCAcum = \frac{VAAcum}{CRAcum} \quad (2.3)$$

Segundo (PMI, 2011) o Indicador de Desempenho de Custos (IDCAcum) oferece informação em relação ao orçamento previsto e disponível. Para o projeto este indicador ajuda a identificar situações em que o projeto pode estar consumindo recursos, sem que

isso seja convertido em um legítimo progresso. Com o IDC (*Indicador de Desempenho de Custos*), é possível mensurar quanto é retornado para cada valor que é investido e este indicador pode ser interpretado da seguinte maneira:

- Se o IDC for igual a 1, é sinal de que o projeto está correndo como o previsto;
- Se o IDC for maior do que 1, presume-se que há economia;
- Se o IDC for menor do que 1, indica estouro do orçamento.

### 2.3 Limitações Apresentadas Pela Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA)

Embora seja possível identificar informações das áreas de escopo, prazo e custo, a técnica de GVA não aborda questões sobre o nível de qualidade das entregas, o que pode ser considerado como uma limitação, pois algumas equipes classificam tarefas como finalizadas antes de analisar os resultados, ou ainda, classificam como finalizadas tarefas realizadas muito abaixo da qualidade exigida por clientes.

O foco das discussões sobre os problemas com a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado está na variação do IDCAcum no decorrer do projeto. Confirmar se o IDCAcum apresenta uma variação tolerável, no decorrer de um projeto, é importante porque o IDCAcum é utilizado para realizar projeções de custos.

Se um projeto apresentar uma grande variação do IDCAcum a equipe de gerência de projetos terá dificuldades em tomar ações corretivas ou preventivas quando o IDCAcum se desviar do valor planejado, porque sua projeção será pouco confiável.

IDPAcum também pode variar e causar problemas a organizações buscando um melhor desempenho com relação ao prazo de seus projetos.

A falta de indicadores de qualidade na técnica de GVA pode fazer com que os indicadores IDP e IDC tenham uma variação alta e impactem de forma negativa as organizações que buscam atender as necessidades de clientes.

No estudo sistemático presente no Apêndice A são apresentadas trabalhos correlatos à este e algumas propostas de extensão da técnica de análise de valor agregado que tentam melhorar a previsão dos indicadores IDCAcum e IDPAcum utilizando dados da qualidade em projetos de software.

## 2.4 Considerações Finais

Esse capítulo apresentou os principais conceitos relacionados ao Gerenciamento de Valor Agregado, descrevendo como utilizar e interpretar suas principais medidas, indicadores de desempenho e equações para a realização de projeções de custo e de prazo. Apresentou, ainda, as limitações encontradas na aplicação da técnica de GVA tradicional com relação a qualidade do desenvolvimento do projeto.

As limitações apresentadas são a base para perceber que de alguma maneira a técnica tradicional precisa ser calibrada para melhor refletir a realidade de projetos de software.

### 3 INTEGRAÇÃO DE DADOS DA QUALIDADE À TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DE VALOR AGREGADO (GVA)

Um modelo de qualidade bem definido e estruturado é o pilar para um sistema de avaliação da qualidade do produto. A International Organization Standardization - ISO e a International Electrotechnical Commission - IEC, que são organismos normalizadores com importância internacional reconhecida no setor de software, se uniram para editar normas internacionais conjuntas. A norma internacional ISO/IEC 25010:2011 determina quais características de qualidade serão levadas em conta ao avaliar as propriedades de um produto de software (ISO/IEC, 2011).

A qualidade de um sistema é o grau em que o sistema satisfaz as necessidades explícitas e implícitas de seus vários clientes. As necessidades dos clientes (funcionalidade, desempenho, segurança, manutenibilidade, etc.) são o que é representado no modelo de qualidade, que categoriza a qualidade do produto em características e sub-características (ISO/IEC, 2011).

Segundo (FREEMAN, 1987), necessidades explícitas são aquelas definidas no requisito proposto. Esses requisitos devem definir as condições em que o produto deve ser utilizado e dizer seus objetivos, funções e desempenho esperado. São, portanto, fatores relativos à qualidade do processo do desenvolvimento do produto que são percebidos somente pelas pessoas que trabalharam no seu desenvolvimento. Necessidades implícitas são aquelas que, embora não expressas no documento do produto, são necessárias para o usuário. Estão englobados nesta classe os requisitos que não precisam ser declarados por serem óbvios, mas que pela gravidade de suas consequências devem ser levados em consideração (ex: mesmo em condições não previstas de erro ou má operação, um sistema de administração hospitalar não pode provocar a morte de pacientes). As necessidades implícitas também são chamadas de qualidade em uso e devem permitir aos usuários atingir metas com efetividade, produtividade, segurança e satisfação em seu uso diário. Muitos desenvolvedores de software devem conciliar, resolver ou minimizar os problemas organizacionais do cliente que contratou o desenvolvimento do produto. Os desenvolvedores de software não podem menosprezar o papel do usuário/cliente, não podendo se esquecer das necessidades implícitas do uso. Cada cliente pode ter desejos e necessidades diferentes em relação ao mesmo tipo de produto. A pergunta é qual o interesse dos usuários de software. Os usuários estão mais interessados no uso do software, na sua funcionalidade, no desem-

penho e nos efeitos que o uso possa produzir na sua empresa, organização, etc. O cliente valoriza que o software responda as suas necessidades. É importante considerar que o cliente é quem está à frente. Hoje o mercado é mais competitivo, aumentando a oferta de produtos, e o cliente está mais consciente do seu poder. Esta mudança no mercado, maior globalização, leva a exigir melhor qualidade de produtos e processos para atender a esse novo cliente. Para um modelo de qualidade que funcione e mostre o real andamento de um projeto, as informações de qualidade extraídas das necessidades dos clientes precisam ser confiáveis.

Segundo (SOLOMON, 2007), as informações providas pelo GVA serão confiáveis e precisas apenas se as seguintes condições ocorrerem: (i) a qualidade do produto for medida; (ii) foram selecionadas medidas básicas adequadas de desempenho técnico e (iii) o progresso foi avaliado objetivamente. Entretanto, a técnica de GVA apresenta deficiências em relação às condições apresentadas acima. Uma dessas deficiências é que não há garantias de que o Valor Agregado Acumulado (VAAcum) reportado baseia-se nas medidas de qualidade do produto, como definido pelos padrões e modelos de engenharia de software (SOLOMON, 2007). Isso ocorre, porque a técnica de GVA estabelece que o VAAcum é uma medida da quantidade de trabalho realizado e que a qualidade do trabalho realizado é controlada por outros processos (SOLOMON, 2007).

A extensão agora apresentada provê um conjunto de medidas relacionadas a qualidade do trabalho realizado encontradas nas fases do ciclo de vida que compõem o projeto. Durante a fase de execução, o foco é o exercício do que foi planejado. Portanto, os documentos devem assegurar o acompanhamento das atividades e o registro das entregas. É essencial que haja registro dos avanços e que sejam documentadas as conclusões parciais do escopo, tendo a prova do aceite de cada uma delas. Na execução, muitas vezes, ocorrem mudanças no escopo e também nos requisitos de qualidade do produto. As medidas de qualidade geradas ao estudar o comportamento dessas fases do projeto serão integradas ao GVA tradicional.

A proposta aqui apresentada utiliza como base o modelo de qualidade fornecido pela norma ISO/IEC 25010:2011 (ISO/IEC, 2011) e a Figura 1 ilustra o modelo completo proposto por essa norma.

As características definidas por esta norma são relevantes para todos os produtos de software e sistemas de computador (ISO/IEC, 2011). As características e subcaracterísticas fornecem uma terminologia consistente para especificar, medir e avaliar a qualidade do projeto. Elas também fornecem um conjunto de características de qualidade que podem ser comparados aos requisitos de qualidade declarados pelo cliente.

O escopo de aplicação do modelo de qualidade da norma ISO/IEC 25010:2011 inclui suporte à especificação e avaliação de projetos de software associados à aquisição, requisitos, desenvolvimento, uso, avaliação, suporte, manutenção, controle e garantia de

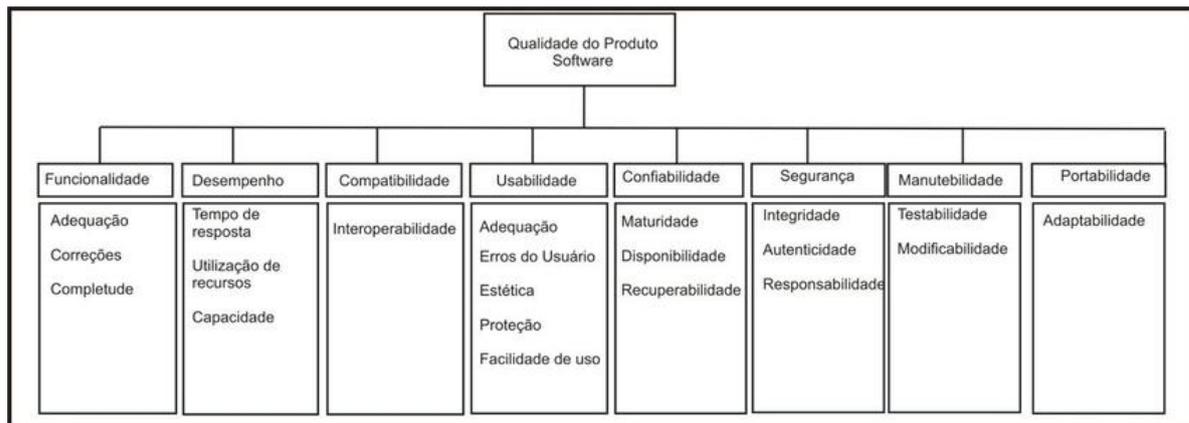


Figura 1 – Qualidade do Produto de Software ISO/IEC 25010:2011

qualidade. O modelo pode, por exemplo, ser usado por desenvolvedores, clientes, equipe de controle e garantia de qualidade e avaliadores independentes, particularmente aqueles responsáveis por especificar e avaliar a qualidade do produto de software (ISO/IEC, 2011).

A proposta demonstrada por esta dissertação utiliza o modelo de qualidade proposto pela norma ISO/IEC 25010:2011 como base para identificar a qualidade do desenvolvimento de algumas tarefas do projeto. Em outras palavras, os gestores, desenvolvedores ou clientes que utilizarem a técnica aqui proposta conseguirão estabelecer o indicador de qualidade das atividades de um projeto com base no modelo de qualidade da norma ISO/IEC 25010:2011. Por exemplo, se um gestor de um projeto de software julgar que o produto que sua equipe está desenvolvendo precisa ter um foco grande no desempenho, ele utilizará como base para mensurar a qualidade do seu projeto a característica de Desempenho e as subcaracterísticas de Desempenho propostas pela norma ISO/IEC 25010:2011 e ilustradas na Figura 1. O modelo proposto pela norma será o guia para responder a pergunta: "O que é qualidade para o projeto atual?" e, ainda, avaliar a qualidade de uma atividade do projeto.

Segundo (SUAREZ et al., 1992) “A qualidade é a conformidade aos requisitos”. Esta definição é bastante interessante para esta proposta, pois evidencia que a qualidade de um projeto de software depende dos requisitos informados pelos clientes. Partindo deste pressuposto é necessário considerar três fatores para a correta verificação da conformidade aos requisitos propostos por (SUAREZ et al., 1992):

i) Definição de Conformidade:

Para a correta verificação da qualidade torna-se necessário uma prévia definição das margens de precisão dos resultados esperados. Tornando possível a medição da qualidade do produto final.

ii) Metodologia de Observação dos Resultados: É necessário ter em mente que a medida observada pode conter margens de erros. Existem diversos fatores que podem

corromper os dados utilizados na observação.

iii) Conciliar os interesses dos diversos Stakeholders: A qualidade esta intimamente ligada aos requisitos e estes requisitos são definidos por alguém, logo a qualidade depende das escolhas que este alguém fez.

A proposta de integração de dados da qualidade à técnica de GVA, consiste na coleta de dados da qualidade, com base na norma ISO/IEC 25010:2011 e nas contribuições de (SUAREZ et al., 1992), tais como a quantidade de tarefas realizadas e o seu respectivo requisito de qualidade.

Essa proposta pressupõe que:

1. Um projeto só é finalizado e entregue quando as atividades atingem 100% da qualidade esperada de acordo com as características e subcaracterísticas escolhidas pelo cliente do modelo proposto por (ISO/IEC, 2011);
2. Toda atividade que não atingir 100% da qualidade gera um custo adicional que é somado a projeção de CR, o custo adicional representa o custo para atingir 100% da qualidade esperada;
3. Os indicadores tradicionais da técnica de GVA (CR, VP, IDC e IDP podem ser calculados e utilizados.

Com base em um conjunto de medidas que serão apresentadas a seguir, um valor de correção de uma determinada tarefa que não atingiu a qualidade esperada é calculado. Essas informações são então incorporadas à técnica tradicional de GVA e os indicadores atualizados para refletir a real situação do projeto em relação a qualidade.

A seguir os indicadores de qualidade para a execução da técnica proposta serão apresentados e discutidos.

### 3.0.1 Informações de Qualidade

Informações de qualidade nesta proposta refere-se aos valores de qualidade desejado e alcançado por uma determinada tarefa. Como base para todos os cálculos, o valor de qualidade desejado é sempre o máximo possível, ou seja, 100% de qualidade, o valor de qualidade alcançado pode variar entre 0 a 100%. 0% significa que a atividade não foi completa com a qualidade esperada e 100% significa que a atividade foi totalmente finalizada dentro da qualidade esperada. Para a correta avaliação da qualidade alcançada, esta proposta utiliza como base as características e subcaracterísticas necessárias da norma ISO/IEC 25010:2011 e as contribuições de (SUAREZ et al., 1992).

Todo projeto possui um conjunto de fases. Essas fases contêm um conjunto de atividades que serão analisados e cuja correção dos defeitos, ou correção da não conformidade, gerará um custo que precisará ser analisado e integrado às medidas de GVA do projeto. A técnica proposta consiste na identificação da qualidade real alcançada das atividades nas fase do projeto, e da sua posterior comparação com a qualidade desejada. As duas medidas coletadas nessa atividade serão utilizadas para calcular o indicador de qualidade da atividade nas fases do projeto. Como estas medidas serão calculadas por fases e por atividade, elas também devem ser coletadas por fases e por atividade. Nesta proposta, qualidade real desejada e qualidade real alcançada são representadas por QRD e QRA, respectivamente:

i) **QRD (*Qualidade Real Desejada*)**: Representa o valor desejado de qualidade para uma atividade qualquer. QRD é geralmente representado pelo valor 1 que corresponde a 100% de qualidade, ou seja, a atividade foi finalizada dentro dos requisitos de qualidade desejados. QRD é o valor a ser alcançado de qualidade nas atividades de um projeto. Um exemplo de QRD em um projeto de software é, considere que um cliente deseja que seu produto seja testado por uma bateria de testes e que 100% dos testes precisam ter o resultado positivo de aceitação. Neste exemplo QRD seria: Atingir 100% de aceitação na bateria de testes.

ii) **QRA (*Qualidade Real Alcançada*)**: Este indicador representa o valor real medido de qualidade de uma atividade qualquer nas fases de um projeto. É representado com valores entre 0 e 1 para indicar de 0% a 100% de qualidade. QRA é comparado a QRD para gerar a qualidade atingida para uma determinada atividade. QRA igual a 0,5 significa que a atividade atingiu 50% da qualidade desejada. Seguindo o mesmo exemplo do indicador anterior (QRD), considere que a bateria de testes retornou um resultado menor do que 100% de aceitação e somente 50% dos testes tiveram o resultado esperado, neste caso QRA seria representado por 0,5 indicando 50% de Qualidade Real Alcançada.

QRD e QRA estabelecem uma relação de o que é desejado (QRD) e o que é realmente obtido (QRA) em relação a qualidade do desenvolvimento de alguma atividade qualquer do projeto.

Estes indicadores estão alinhados ao **ANS (*Acordo de Nível de Serviço*)** que consiste em um contrato entre duas partes: entre a entidade que pretende fornecer o serviço e o cliente que deseja se beneficiar deste. Nestes ANS estão especificados, detalhadamente, todos os aspectos do tipo de serviço que será prestado, assim como os prazos contratuais, a qualidade do serviço e o preço a ser pago pelo trabalho. Um dos principais pontos da ANS é a definição dos resultados a serem obtidos. Pode-se dizer que o ANS se aplica em todo o setor do mercado que lida com prestação de serviços, no entanto, convencionou-se relacionar este contrato com empresas que trabalham na área de Tecnologia da Informação – TI (KARTEN, 2001), (HATHAWAY, 1995) e (BEAUMONT, 2006).

A norma ISO/IEC 25010, apesar de definir modelos de qualidade para projetos de software, não é focada em componentes de software, tornando-se o ponto inicial para pesquisadores definirem os seus próprios modelos, implementando adaptações de acordo com a sua necessidade (BERTOA; VALLECILLO, 2002).

De acordo com (BERTOA; VALLECILLO, 2002), os modelos de qualidade discutidos na literatura não possuem muitos relatos de experiências práticas com a aplicação dos modelos e (ALVARO; ALMEIDA; MEIRA, 2010) complementa esta informação dizendo que a literatura pode ser dividida em dois períodos, de 1993 a 2001 onde o modelo principal era baseado em teste e modelos matemáticos e pós 2001 onde o foco passou a ser sobre as técnicas e modelos baseados em requisitos de qualidade. O foco desta proposta se encontra no segundo período.

Diversos modelos derivados da norma ISO/IEC 25010 baseados em requisitos tem sido propostos na literatura. Entre eles o modelo proposto por (BERTOA; VALLECILLO, 2002) que apresenta pontos positivos por mostrar atributos e métricas que avaliam um componente de software, porém realiza uma mudança pequena na norma, negligenciando outros itens como interfaces, reúso e segurança.

Também é proposto por (ALVARO; ALMEIDA; MEIRA, 2010) um outro modelo que atualiza a norma ISO/IEC 25010 levando em consideração o modelo proposto por (BERTOA; VALLECILLO, 2002), abordando qualquer tipo de componente. Apesar da comparação com a norma ISO/IEC 25010, algumas características definidas, como Segurança e Compatibilidade, não foram adequadamente estudadas e aplicadas.

O modelo adotado como ponto de partida para esta proposta, visando mostrar o funcionamento da metodologia seguindo a norma ISO/IEC 25010:2011 e levando em consideração trabalhos que contribuem para a melhoria da norma, foi o modelo dos autores (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010), publicado no *Journal ACM Sigsoft Software Engineering Notes*.

O modelo proposto por (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010) leva em consideração outros modelos publicados na literatura como os de (BERTOA; VALLECILLO, 2002) e (ALVARO; ALMEIDA; MEIRA, 2010).

Analisando a norma ISO/IEC 25010:2011 vista na Figura 1 e comparando com as contribuições feitas por (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010), algumas diferenças podem ser observadas. Entre elas, as relevantes para esta proposta são:

- Adição da característica Testabilidade.
- Adição da subcaracterística Controle de Componente na característica de Testabilidade. Verifica a facilidade de controle pelas operações.

- Adição da subcaracterística Documentação de Teste na característica de Testabilidade. Relação com a existência de documentos de teste.
- Adição da subcaracterística Rastreabilidade na característica de Testabilidade. Relação com a capacidade de rastrear o status dos atributos do componente e seu comportamento.
- Adição da característica Reusabilidade.
- Adição da subcaracterística Independência de Hardware e Software na característica de Reusabilidade. Verifica se o componente não possui nenhuma dependência de hardware ou software.
- Adição da subcaracterística Locabilidade na característica de Reusabilidade. Relação com a facilidade de localizar o componente dentro de um repositório.

Os itens mencionados acima mostram as contribuições feitas por (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010) de forma a adicionar características e subcaracterísticas à norma ISO/IEC 25010:2011. Esta proposta utiliza, então, a norma ISO/IEC 25010:2011, as contribuições de (SUAREZ et al., 1992) e (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010) para avaliar as informações de qualidade das atividades de um projeto em todas as fases do ciclo de vida, levando em consideração as características e subcaracterísticas que fazem sentido serem analisadas para uma atividade qualquer em uma fase do ciclo de vida qualquer do projeto.

A Tabela 1 mostra um exemplo de como é possível rastrear a forma como cada atividade de um projeto poderia ser avaliada em cada ciclo de vida seguindo a norma ISO/IEC 25010:2011 e as contribuições de (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010). As células coloridas mostram que a característica assinalada e suas respectivas subcaracterísticas serão analisadas para medir a qualidade de uma atividade.

A Tabela 1 pode ser entendida como a rastreabilidade do que se pretende medir com relação a qualidade de uma atividade, ou seja, para a Atividade 1 ilustrada, todas as subcaracterísticas de Funcionalidade, Desempenho, Usabilidade, Segurança, Manutibilidade, Portabilidade, Testabilidade e Reusabilidade foram planejadas para serem avaliadas. A qualidade real desejada (QRD) não necessariamente será igual a qualidade real alcançada (QRA) após a análise da atividade seguindo o planejamento estabelecido. Após a avaliação das atividades seguindo o exemplo da Tabela 1, é possível que a atividade não alcance o nível de qualidade desejado, o que significa que alguma característica ou subcaracterística não foi seguida corretamente. O resultado desta avaliação é que a Qualidade Real Alcançada (QRA) é inferior a Qualidade Real Desejada (QRD). De forma semelhante, se todas as características e subcaracterísticas avaliadas forem satisfeitas, QRA será igual a QRD, ou seja, a qualidade alcançada será igual a qualidade desejada.

Tabela 1 – Exemplo de rastreabilidade de características analisadas em cada atividade, seguindo a norma ISO/IEC 25010:2011 e as contribuições de (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010)

Atividade	ISSO/IEC 25010:2011							
	Funcionalidade	Desempenho	Compatibilidade	Usabilidade	Confiabilidade	Segurança	Manutibilidade	Portabilidade
1	■	■		■			■	■
2		■		■				■
3	■	■	■	■	■	■	■	■
4	■	■			■	■	■	■
5			■	■	■	■		■
6	■		■		■	■		■
7			■	■	■	■		
8	■	■	■	■			■	■
9	■		■					
10		■	■	■	■	■	■	■
11	■	■		■		■	■	■
12						■		■
13	■	■	■	■	■	■	■	■
14	■		■				■	■
15		■		■		■	■	
16	■	■	■	■		■	■	■
17	■		■	■		■	■	■

Atividade	Contribuições de (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010)	
	Testabilidade	Reusabilidade
1	■	■
2	■	■
3	■	■
4	■	■
5	■	■
6	■	
7	■	■
8	■	
9	■	■
10	■	■
11	■	■
12	■	
13	■	■
14	■	■
15	■	
16	■	■
17	■	■

Nesta proposta, para que a avaliação de uma atividade qualquer em uma fase do ciclo de vida qualquer do projeto ocorra, é necessário atribuir pesos para cada subcaracterística de cada característica que se pretende medir exemplificadas na Tabela 1.

Todas as subcaracterísticas analisadas tem o peso igual dentro de uma característica como mostrado na Tabela 2. Por exemplo, a característica de Funcionalidade possui três subcaracterísticas: i) Adequação, ii) Correções e iii) Completude. Cada subcaracterística de Funcionalidade tem um peso de aproximadamente 33,33%. Dessa maneira, para que uma atividade seja avaliada com 100% de qualidade dentro de Funcionalidade, ela precisa ter atendido a todas as subcaracterísticas integralmente. Cada subcaracterística pode ser parcialmente ou completamente atendida, fazendo com que a qualidade real alcançada de cada atividade varie de acordo com as análises feitas. Caso uma atividade seja anali-

sada levando em consideração a característica de Funcionalidade e esta atividade atenda à 50% de qualidade nas subcaracterísticas analisadas, a característica de Funcionalidade terá o seu peso final igual a 50%.

Após feita a avaliação de todas as subcaracterísticas, cada característica terá um valor variando de 0 a 1, indicando a qualidade relacionada aquela característica. Para extrair o valor de QRA basta calcular a média somando os pesos finais de cada característica e dividindo este valor pelo número de características avaliadas.

Como QRA varia entre 0 e 1 para indicar 0% a 100% de Qualidade Real Alcançada, então a equação utilizada para determinar QRA é:

$$QRA = \frac{\sum C}{N} \quad (3.1)$$

onde:

- C: Peso de cada característica avaliada;
- N: Número de características avaliadas

QRA pode então ser calculado para cada atividade em cada fase do ciclo de vida do projeto utilizando a Equação 3.1.

Para determinar o peso de cada característica avaliada, é necessário avaliar as subcaracterísticas e determinar o quanto cada subcaracterística foi satisfeita seguindo a distribuição de pesos na Tabela 2.

Imagine que a Atividade 1 está sendo avaliada levando em consideração somente a característica de Funcionalidade. Imagine também que após as análises feitas, concluiu-se que cada subcaracterística resultou em:

- Adequação: 100%;
- Correções: 65%;
- Completude: 90%;

Este resultado significa que Adequação foi 100% satisfeita, Correções 65% e Completude 90%. Estas subcaracterísticas fazem parte da característica de Funcionalidade e seus respectivos valores serão utilizados para determinar o peso final da característica de Funcionalidade.

O peso final da característica de Funcionalidade pode ser determinado multiplicando a porcentagem satisfeita pelo peso de cada subcaracterística e somando estes valores, da seguinte forma:

$$\sum C = (100\% * 33,33\%) + (65\% * 33,33\%) + (90\% * 33,33\%) = 0,8499 \quad (3.2)$$

A primeira parcela da Equação 3.2 se refere a subcaracterística de Adequação, a segunda se refere a Correções e a terceira à Completude.

Utilizando a Equação 3.1 para calcular QRA:

$$QRA = \frac{0,8499}{1} \quad (3.3)$$

O valor de QRA obtido representa que a Atividade em análise, no caso a Atividade 1, foi finalizada com 84,99% de qualidade na fase do ciclo de vida do projeto em que esta atividade foi analisada. É necessário realizar a mesma análise para cada fase do ciclo de vida para todas as atividades.

Nos casos em que mais de uma característica é analisada para determinar a Qualidade Real Alcançada (QRA) de alguma atividade, as Equações 3.1, 3.2 e 3.3 serão utilizadas da mesma forma, mudando somente o número de características e subcaracterísticas analisadas, consequentemente aumentando o número de parcelas nas equações.

Para analisar de forma objetiva e facilitar o entendimento do leitor, o Apêndice B mostra os questionamentos objetivos feitos para cada subcaracterística de cada característica presente na norma ISO/IEC 25010:2011 e utilizados para analisar e determinar o valor referente à Qualidade Real Alcançada (QRA) das atividades do projeto.

Tabela 2 – Pesos de cada subcaracterística utilizados para análise de informações de qualidade

ISSO/IEC 25010									
<table border="1"> <tr> <th>Funcionalidade</th> </tr> <tr> <td>Adequação - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Correções - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Compleitude - 33,33%</td> </tr> </table>	Funcionalidade	Adequação - 33,33%	Correções - 33,33%	Compleitude - 33,33%	<table border="1"> <tr> <th>Confiabilidade</th> </tr> <tr> <td>Maturidade - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Disponibilidade - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidade - 33,33%</td> </tr> </table>	Confiabilidade	Maturidade - 33,33%	Disponibilidade - 33,33%	Recuperabilidade - 33,33%
Funcionalidade									
Adequação - 33,33%									
Correções - 33,33%									
Compleitude - 33,33%									
Confiabilidade									
Maturidade - 33,33%									
Disponibilidade - 33,33%									
Recuperabilidade - 33,33%									
<table border="1"> <tr> <th>Desempenho</th> </tr> <tr> <td>Tempo de resposta - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Utilização de recursos - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Capacidade - 33,33%</td> </tr> </table>	Desempenho	Tempo de resposta - 33,33%	Utilização de recursos - 33,33%	Capacidade - 33,33%	<table border="1"> <tr> <th>Segurança</th> </tr> <tr> <td>Integridade - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Autenticidade - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Responsabilidade - 33,33%</td> </tr> </table>	Segurança	Integridade - 33,33%	Autenticidade - 33,33%	Responsabilidade - 33,33%
Desempenho									
Tempo de resposta - 33,33%									
Utilização de recursos - 33,33%									
Capacidade - 33,33%									
Segurança									
Integridade - 33,33%									
Autenticidade - 33,33%									
Responsabilidade - 33,33%									
<table border="1"> <tr> <th>Compatibilidade</th> </tr> <tr> <td>Interoperabilidade - 100%</td> </tr> </table>	Compatibilidade	Interoperabilidade - 100%	<table border="1"> <tr> <th>Manutibilidade</th> </tr> <tr> <td>Testabilidade - 50%</td> </tr> <tr> <td>Modificabilidade - 50%</td> </tr> </table>	Manutibilidade	Testabilidade - 50%	Modificabilidade - 50%			
Compatibilidade									
Interoperabilidade - 100%									
Manutibilidade									
Testabilidade - 50%									
Modificabilidade - 50%									
<table border="1"> <tr> <th>Usabilidade</th> </tr> <tr> <td>Adequação - 20%</td> </tr> <tr> <td>Erros do Usuário - 20%</td> </tr> <tr> <td>Estética - 20%</td> </tr> <tr> <td>Proteção - 20%</td> </tr> <tr> <td>Facilidade de uso - 20%</td> </tr> </table>	Usabilidade	Adequação - 20%	Erros do Usuário - 20%	Estética - 20%	Proteção - 20%	Facilidade de uso - 20%	<table border="1"> <tr> <th>Portabilidade</th> </tr> <tr> <td>Adaptabilidade - 100%</td> </tr> </table>	Portabilidade	Adaptabilidade - 100%
Usabilidade									
Adequação - 20%									
Erros do Usuário - 20%									
Estética - 20%									
Proteção - 20%									
Facilidade de uso - 20%									
Portabilidade									
Adaptabilidade - 100%									
<table border="1"> <tr> <th>Contribuições</th> </tr> </table>		Contribuições							
Contribuições									
<table border="1"> <tr> <th>Testabilidade</th> </tr> <tr> <td>Controle de Componente - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Documentação de Teste - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Rastreabilidade - 33,33%</td> </tr> </table>	Testabilidade	Controle de Componente - 33,33%	Documentação de Teste - 33,33%	Rastreabilidade - 33,33%					
Testabilidade									
Controle de Componente - 33,33%									
Documentação de Teste - 33,33%									
Rastreabilidade - 33,33%									
<table border="1"> <tr> <th>Reusabilidade</th> </tr> <tr> <td>Generalidade - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Independência de HW e SW - 33,33%</td> </tr> <tr> <td>Locabilidade - 33,33%</td> </tr> </table>	Reusabilidade	Generalidade - 33,33%	Independência de HW e SW - 33,33%	Locabilidade - 33,33%					
Reusabilidade									
Generalidade - 33,33%									
Independência de HW e SW - 33,33%									
Locabilidade - 33,33%									

### 3.0.1.1 Indicador de Desempenho de Qualidade (IDQ)

Após a identificação dos valores de QRD e QRA é possível gerar o **IDQ** (*Indicador de Desempenho de Qualidade*) de uma atividade em uma fase do projeto pela seguinte equação:

$$IDQ = \frac{QRA}{QRD} \quad (3.4)$$

IDQ indica o quão eficientemente uma atividade é conduzida ao longo de um projeto para atender aos requisitos de qualidade. IDQ pode variar entre 0 e 1, sendo que:

- IDQ = 1, significa que 100% da atividade foi executada dentro da qualidade desejada;
- IDQ = 0, significa que 0% da atividade foi executada dentro da qualidade desejada;
- IDQ = 0.5, significa que 50% da atividade foi executada dentro da qualidade desejada.

### 3.0.1.2 Custo de Correção de Qualidade (CCQ)

Após coletados os dados da Qualidade Real Desejada (QRD), Qualidade Real Alcançada (QRA) e Índice de Desempenho de Qualidade (IDQ), é possível calcular o custo para corrigir uma atividade finalizada fora da qualidade esperada. Toda atividade que não atingir a qualidade esperada, isto é, o desenvolvimento da atividade específica não está de acordo com o que é esperado em termos de qualidade e IDQ é menor do que 1, gera um custo adicional ao projeto, este custo é calculado e adicionado ao custo do projeto na fase de execução da próxima atividade na sequência de atividades do projeto. Desta forma, se está-se analisando a primeira atividade executada no projeto - atividade 1 - e essa atividade gerou um custo adicional por falta de qualidade, este custo adicional será somado ao projeto durante a análise da atividade 2. Nas equações discutidas a seguir, será adotado uma notação simplificada para referenciar as atividades do projeto. A primeira atividade executada será chamada de "a", a atividade seguinte será referenciada como "a+1", da mesma forma "a-1" representa a atividade anterior.

A equação a seguir mostra como é possível calcular o *CCQ (Custo de Correção de Qualidade)* de uma atividade levando em consideração a qualidade alcançada e seu custo real.

$$CCQ(a) = \frac{CR(a)}{IDQ(a)} - CR(a) \quad (3.5)$$

Onde:

- CCQ(a) representa o custo para corrigir uma atividade que não está dentro dos requisitos de qualidade, ou seja, o valor de QRA para esta atividade não é igual a QRD;
- CR(a): representa o custo real de uma atividade do projeto sem levar em consideração a qualidade desta atividade, é o CR da técnica tradicional de GVA;

### 3.0.1.3 Custo Real da Qualidade do Projeto (CRQPAcum)

A partir do custo para corrigir uma atividade que não atingiu os requisitos de qualidade, pode-se projetar o *CRQP (Custo Real da Qualidade do Projeto)* ou *CRQPAcum*

(*Custo Real da Qualidade do Projeto Acumulado*). Nota-se que existe uma diferença entre custo real do projeto e custo real da qualidade do projeto, custo real (CR) não leva em consideração a qualidade com a qual as atividades foram desenvolvidas, já o custo real da qualidade (CRQP) leva. A equação a seguir apresenta esta diferença e o modo de calcular o custo da qualidade do projeto.

$$CRQP_{Acum}(a) = CCQ(a - 1) + CR(a) + CRQP(a - 1) \quad (3.6)$$

Onde:

- CRQP<sub>Acum</sub>: representa o custo real da qualidade do projeto, levando em consideração o custo para corrigir uma atividade que não está dentro dos requisitos de qualidade (CCQ);
- CCQ(a-1): representa o custo de correção da atividade anterior à atividade analisada, caso a atividade analisada seja a primeira atividade executada do projeto, então CCQ(a-1) = 0;
- CR(a): representa o custo real de uma atividade do projeto sem levar em consideração a qualidade desta atividade; é o CR da técnica tradicional de GVA;
- CRQP(a-1): representa o custo real da qualidade calculado para a atividade anterior à atividade analisada, caso a atividade analisada seja a primeira atividade executada do projeto, então CRQP(a-1) = 0;

Realizando o cálculo de CRQP<sub>Acum</sub> obtém-se o valor do custo real de qualidade do projeto, de forma acumulada. Este valor pode ser comparado ao valor obtido para o custo real do projeto (CR) utilizando a técnica de GVA tradicional. Caso os valores sejam iguais, significa que o projeto está completando as atividades com a qualidade ideal, ou seja, de acordo com os requisitos de qualidade impostos pelo cliente. Se CRQP<sub>Acum</sub> for maior que CR, significa que as atividades estão sendo entregues fora da qualidade esperada, gerando custos adicionais ao projeto (CCQ).

#### 3.0.1.4 Valor Planejado de Qualidade (VPQ<sub>Acum</sub>)

O objetivo do VPQ (*Valor Planejado de Qualidade*) ou VPQ<sub>Acum</sub> (*Valor Planejado de Qualidade Acumulado*) é medir a capacidade do projeto de entregar os requisitos de qualidade planejados, durante a execução do projeto.

Esta medida baseia-se na qualidade das atividades estudadas nas seções anteriores e no VP (*Valor Planejado*) do projeto. Valor agregado de qualidade mostra se a entrega de uma tarefa atingiu ou não o valor planejado (VP). Para realizar este cálculo, é necessário

que o valor planejado do projeto (VP) já esteja disponível para uso. O valor de VP é calculado utilizando a técnica convencional de GVA. A equação apresentada a seguir mostra como é feito o cálculo de VPQ:

$$VPQAcum(a) = (IDQ(a) * VP(a)) + VPQ(a - 1) \quad (3.7)$$

Onde:

- VPQAcum: representa o Valor Planejado de Qualidade acumulado do projeto;
- IDQ(a): representa o indicador de qualidade de uma atividade;
- VP(a): representa o valor planejado para uma atividade, calculado pela técnica tradicional de Gerenciamento do Valor Agregado;
- VPQ(a-1): representa o Valor Planejado de Qualidade da atividade anterior, caso a atividade em análise seja a primeira atividade do projeto, VPQ(a-1) é igual a 0.

Após o cálculo de VPQAcum, pode-se comparar este valor obtido ao valor planejado (VP) do projeto. Esta comparação mostra se as atividades do projeto estão sendo entregues da forma planejada:

i) Caso VPQAcum seja igual a VP, significa que as atividades do projeto estão sendo entregues dentro da qualidade esperada. Este é o melhor cenário possível.

ii) Caso VPQAcum seja menor que VP, significa que as atividades do projeto estão sendo entregues fora da qualidade esperada.

iii) Caso VPQAcum seja maior que VP, significa que as atividades do projeto estão sendo entregues com qualidade melhor do que esperada.

### 3.0.1.5 Indicador de Desempenho de Custo com Qualidade (IDCQ) e Indicador de Desempenho de Prazo com Qualidade (IDPQAcum)

Os dois principais indicadores da técnica de Gerenciamento do Valor Agregado são o IDP (Indicador de Desempenho de Prazo) e o IDC (Indicador de Desempenho de Custo).

O IDP indica a eficiência com a qual o projeto está realmente progredindo em comparação com o cronograma planejado. De acordo com o Guia PMBOK, “O Indicador de Desempenho do Prazos (IDP) é uma medida da eficiência do cronograma, expressa como a proporção entre o valor agregado e o valor planejado.” O Indicador de Desempenho de Prazos fornece informações sobre o desempenho do cronograma do projeto. É a eficiência do tempo utilizado no projeto.

O IDC ajuda a analisar a eficiência do custo utilizado pelo projeto. Mede o valor do trabalho concluído em comparação com o custo real gasto no projeto. De acordo com o Guia PMBOK, “O Indicador de Desempenho de Custos (IDC) é uma medida da eficiência de custo dos recursos orçados, expressa como uma proporção entre o valor ganho e o custo real.” O Indicador de Desempenho de Custos especifica quanto o projeto está ganhando por cada unidade de gasto. O Índice de Desempenho de Custo é uma indicação de quão bem o projeto permanece dentro do orçamento.

Nesta proposta, após gerados todos os indicadores de qualidade vistos nas seções anteriores, é possível comparar o desempenho dos indicadores tradicionais da técnica de GVA (IDP e IDC) com dois novos indicadores de custo e prazo relacionados a qualidade do projeto executado *IDPQAcum (Indicador de Desempenho de Prazos com Qualidade Acumulado)* e *IDCQAcum (Indicador de Desempenho de Custos com Qualidade Acumulado)*. As equações 3.8 e 3.9 mostram o cálculo destes indicadores.

$$IDP_{Acum}(a) = \frac{VPQ_{Acum}}{VPA_{Acum}} \quad (3.8)$$

$$IDC_{Acum}(a) = \frac{VPQ_{Acum}}{CRQP_{Acum}} \quad (3.9)$$

*IDPQ (Indicador de Desempenho de Prazos com Qualidade)* e *IDCQ (Indicador de Desempenho de Custos com Qualidade)* se relacionam com IDP e IDC, respectivamente, da técnica tradicional de GVA. *IDPQ* e *IDCQ* indicam os valores de IDP e IDC levando em consideração a qualidade das atividades do projeto, os valores são comparados para demonstrar o erro da técnica tradicional em relação a técnica proposta. Como os indicadores tradicionais (IDP e IDC) não levam em consideração a qualidade das atividades executadas, a técnica de GVA tradicional pode levar o gerente de projetos a acreditar que o projeto está dentro do prazo e custo, *IDPQ* e *IDCQ* levam em consideração indicadores de qualidade e atualizam os valores de IDP e IDC para demonstrar a realidade do projeto. Caso os valores calculados para *IDPQ* e *IDCQ* demonstrem um cenário pior do que o cenário indicado pela técnica tradicional de GVA, o gerente de projetos pode usar a técnica proposta para ajudá-lo a identificar: (i) onde o problema está ocorrendo; (ii) se o problema é crítico ou não; e (iii) qual ação trará o projeto de volta ao planejado.

### 3.0.2 Exemplo de Uso

Para exemplificar a utilização da técnica proposta e a aplicação de suas equações, será utilizado o exemplo de um projeto onde as equações vistas na seção anterior foram aplicadas. Nesse exemplo estão descritos cada um dos passos para a utilização da técnica proposta.

## 1. Coletar as informações do projeto geradas pela técnica tradicional de GVA

Considere que uma empresa ao executar um projeto de software, utilize sempre um ciclo de vida de quatro fases: i) Elaboração, ii) Implementação, iii) Testes e iv) Verificação e 17 atividades foram executadas ao longo do ciclo de vida do projeto.

As 17 atividades são referentes a requisitos necessários para finalizar um projeto de software. Tratam-se de atividades previamente requisitas por um cliente e que foram posteriormente discutidas para que valores de esforço pudessem ser estimados. A Tabela 3 mostra a descrição de cada uma das atividades do projeto.

Sendo assim, em cada fase do ciclo de vida, as 17 atividades possuem os valores de esforço estimado e real. A Tabela 4 demonstra o esforço estimado e real para as 17 atividades em todas as fases do ciclo de vida do projeto.

Tabela 3 – Atividades do projeto de software

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO
1	Modificar forma do cálculo dos contratos
2	Agrupar tipos de documentos iguais
3	Permitir aceitar mais de um documento para documentos agrupados
4	Exibir opções de itens dentro do carrinho de compras
5	Retornar a tela inicial ao cancelar carrinho de compras
6	Exibir relatório de itens salvos
7	Exibir a data de Protocolo e Tipos de Documentos do Lote no de itens
8	Criar ação REMEMBER
9	Criar ação SEND
10	Visualizar notas na página principal quando usuário admin
11	Permitir o envio de Mensagens para os Fornecedores via notificação
12	Permitir visualização de Mensagens enviadas
13	Enviar sinalização por e-mail quando um analista responder a uma mensagem
14	Criar relatório em Tempo Real
15	Modificar Forma de envio de comunicados aos Fornecedores
16	Criar relatório de Remessas enviadas ao arquivo
17	Funcionalidade de Retorno no INACTIVE

Tabela 4 – Esforço Estimado e Esforço Real para as atividades do projeto nas quatro fases do ciclo de vida

Elaboração			Implementação		
<i>Atividade</i>	<i>Estimado</i>	<i>Real</i>	<i>Atividade</i>	<i>Estimado</i>	<i>Real</i>
1	1,0	0,3	1	8,0	7,5
2	1,8	0,3	2	13,9	10,2
3	1,4	0,8	3	14,8	14,8
4	0,9	0,2	4	7,2	2,9
5	0,6	0,1	5	4,8	1,7
6	1,0	0,1	6	8,0	3,8
7	0,8	0,5	7	17,4	17,4
8	1,3	0,6	8	10,0	6,1
9	1,3	0,2	9	10,0	2,0
10	0,6	0,3	10	4,7	2,0
11	1,0	0,6	11	8,0	3,2
12	1,0	0,2	12	8,0	0,8
13	0,9	0,3	13	6,8	4,9
14	1,8	0,4	14	14,0	4,6
15	2,3	0,8	15	20,4	20,4
16	2,3	0,7	16	17,6	12,1
17	1,0	0,4	17	8,0	2,0

Testes			Verificação		
<i>Atividade</i>	<i>Estimado</i>	<i>Real</i>	<i>Atividade</i>	<i>Estimado</i>	<i>Real</i>
1	2,9	2,3	1	3,5	3,5
2	2,6	2,6	2	1,8	0,1
3	4,5	2,5	3	1,5	0,1
4	2,7	1,3	4	0,9	0,4
5	1,8	1,3	5	0,6	0,1
6	3,0	1,2	6	1,0	0,1
7	4,5	4,5	7	0,8	0,1
8	3,8	1,3	8	1,3	0,3
9	0,7	0,7	9	1,3	0,1
10	1,8	0,6	10	0,6	0,1
11	3,0	0,8	11	1,0	0,1
12	0,8	0,8	12	1,0	0,1
13	2,6	1,1	13	0,9	0,1
14	5,1	3,0	14	8,9	5,0
15	6,8	2,3	15	2,3	2,2
16	6,6	1,9	16	2,3	2,2
17	3,0	1,6	17	1,0	0,1

O esforço é estimado em cada fase do ciclo de vida do projeto com base na atividade que precisa ser executada e na fase sendo executada. Desta forma, a atividade 1 possui um esforço estimado na fase de elaboração, ou seja, o esforço estimado para elaborar esta atividade e possui um valor de esforço estimado na fase de implemen-

tação, onde a atividade foi implementada. A mesma lógica é aplicada nas demais fases do ciclo de vida, onde a atividade foi testada (Testes) e verificada (Verificação).

O esforço real é obtido após o gerente de projeto ou a equipe responsável medir o esforço real gasto após a execução de uma atividade na fase do ciclo de vida em que ela se encontra. Assim a Tabela 4 pode ser gerada.

Com as informações de esforço de cada atividade em cada fase do ciclo de vida do projeto coletadas, os indicadores tradicionais da técnica de GVA podem ser calculados.

A Tabela 5 mostra o Esforço Estimado Acumulado (EsfEstAcum), Esforço Real Acumulado (EsfRealAcum), Valor Planejado Acumulado (VPAcum), Custo Real Acumulado (CRAcum), IDC acumulado (IDCAcum), IDP acumulado (IDPAcum) e a porcentagem executada do projeto (%Exec), calculados a partir dos dados presentes na Tabela 4, em todas as fases do ciclo de vida do projeto.

Os valores de VPAcum, CRAcum, IDCAcum e IDPAcum foram calculados seguindo as equações da técnica tradicional de GVA explanadas no Capítulo 2.

Todos esses dados foram gerados pela técnica tradicional de GVA e são necessários para calcular os indicadores de qualidade demonstrados a seguir.

Tabela 5 – Informações do projeto em todas as fases do ciclo de vida

Elaboração						
EsfEstAcum	EsfRealAcum	VPAcum	CRAcum	IDCAcum	IDPAcum	%Exec.
1	0,3	100	30	3,333333333	3,333333333	0,3%
2,8	0,6	280	60	4,666666667	4,666666667	1,0%
4,2	1,4	420	140	3	3	1,5%
5,1	1,6	510	160	3,1875	3,1875	1,8%
5,7	1,7	570	170	3,352941176	3,352941176	2,0%
6,7	1,8	670	180	3,722222222	3,722222222	2,3%
7,5	2,3	750	230	3,260869565	3,260869565	2,6%
8,8	2,9	880	290	3,034482759	3,034482759	3,0%
10,1	3,1	1010	310	3,258064516	3,258064516	3,5%
10,7	3,4	1070	340	3,147058824	3,147058824	3,7%
11,7	4	1170	400	2,925	2,925	4,0%
12,7	4,2	1270	420	3,023809524	3,023809524	4,4%
13,6	4,5	1360	450	3,022222222	3,022222222	4,7%
15,4	4,9	1540	490	3,142857143	3,142857143	5,3%
17,7	5,7	1770	570	3,105263158	3,105263158	6,1%
20	6,4	2000	640	3,125	3,125	6,9%

21	6,8	2100	680	3,088235294	3,088235294	7,3%
Implementação						
EsfEstAcum	EsfRealAcum	VPAcum	CRAcum	IDCAcum	IDPAcum	%Exec. 7,3%
29	14,3	2900	1430	2,027972028	2,027972028	10,0%
42,9	24,5	4290	2450	1,751020408	1,751020408	14,8%
57,7	39,3	5770	3930	1,468193384	1,468193384	19,9%
64,9	42,2	6490	4220	1,537914692	1,537914692	22,4%
69,7	43,9	6970	4390	1,587699317	1,587699317	24,1%
77,7	47,7	7770	4770	1,628930818	1,628930818	26,8%
95,1	65,1	9510	6510	1,460829493	1,460829493	32,8%
105,1	71,2	10510	7120	1,476123596	1,476123596	36,3%
115,1	73,2	11510	7320	1,572404372	1,572404372	39,8%
119,8	75,2	11980	7520	1,593085106	1,593085106	41,4%
127,8	78,4	12780	7840	1,630102041	1,630102041	44,1%
135,8	79,2	13580	7920	1,714646465	1,714646465	46,9%
142,6	84,1	14260	8410	1,695600476	1,695600476	49,3%
156,6	88,7	15660	8870	1,765501691	1,765501691	54,1%
177	109,1	17700	10910	1,622364803	1,622364803	61,1%
194,6	121,2	19460	12120	1,605610561	1,605610561	67,2%
202,6	123,2	20260	12320	1,644480519	1,644480519	70,0%
Testes						
EsfEstAcum	EsfRealAcum	VPAcum	CRAcum	IDCAcum	IDPAcum	%Exec. 70,0%
205,5	125,5	20550	12550	1,637450199	1,637450199	71,0%
208,1	128,1	20810	12810	1,6245121	1,6245121	71,9%
212,6	130,6	21260	13060	1,627871363	1,627871363	73,4%
215,3	131,9	21530	13190	1,632297195	1,632297195	74,4%
217,1	133,2	21710	13320	1,62987988	1,62987988	75,0%
220,1	134,4	22010	13440	1,63764881	1,63764881	76,0%
224,6	138,9	22460	13890	1,616990641	1,616990641	77,6%
228,4	140,2	22840	14020	1,629101284	1,629101284	78,9%
229,1	140,9	22910	14090	1,625975869	1,625975869	79,1%
230,9	141,5	23090	14150	1,63180212	1,63180212	79,8%
233,9	142,3	23390	14230	1,643710471	1,643710471	80,8%
234,7	143,1	23470	14310	1,64011181	1,64011181	81,1%
237,3	144,2	23730	14420	1,645631068	1,645631068	82,0%
242,4	147,2	24240	14720	1,64673913	1,64673913	83,7%

249,2	149,5	24920	14950	1,666889632	1,666889632	86,1%
255,8	151,4	25580	15140	1,689564069	1,689564069	88,4%
258,8	153	25880	15300	1,691503268	1,691503268	89,4%
Verificação						
EsfEstAcum	EsfRealAcum	VPAcum	CRAcum	IDCAcum	IDPAcum	%Exec.
262,3	156,5	26230	15650	1,676038339	1,676038339	90,6%
264,1	156,6	26410	15660	1,686462324	1,686462324	91,2%
265,6	156,7	26560	15670	1,694958519	1,694958519	91,7%
266,5	157,1	26650	15710	1,696371738	1,696371738	92,1%
267,1	157,2	26710	15720	1,699109415	1,699109415	92,3%
268,1	157,3	26810	15730	1,704386523	1,704386523	92,6%
268,9	157,4	26890	15740	1,708386277	1,708386277	92,9%
270,2	157,7	27020	15770	1,713379835	1,713379835	93,3%
271,5	157,8	27150	15780	1,720532319	1,720532319	93,8%
272,1	157,9	27210	15790	1,723242559	1,723242559	94,0%
273,1	158	27310	15800	1,728481013	1,728481013	94,3%
274,1	158,1	27410	15810	1,73371284	1,73371284	94,7%
275	158,2	27500	15820	1,738305942	1,738305942	95,0%
283,9	163,2	28390	16320	1,739583333	1,739583333	98,1%
286,2	165,4	28620	16540	1,730350665	1,730350665	98,9%
288,5	167,6	28850	16760	1,721360382	1,721360382	99,7%
289,5	167,7	28950	16770	1,726296959	1,726296959	100,0%

## 2. Coletar Qualidade Real Desejada (QRD) e Qualidade Real Alcançada (QRA) e calcular Indicador de Desempenho de Qualidade (IDQ) das atividades do projeto

Coletando as informações de QRD e QRA é possível calcular IDQ e demonstrar o quanto uma atividade foi executada de acordo com a qualidade desejada.

Nesse sentido, após as análises preliminares das necessidades do cliente, concluiu-se que a atividade 1 por exemplo, é fortemente ligada a Funcionalidade, Desempenho, Usabilidade, Segurança, Manutenibilidade e Portabilidade. Essas características estão presentes na norma ISO/IEC 25010:2011. Das contribuições feitas por (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010), esta atividade está ligada à Testabilidade e Reusabilidade.

Como mencionado anteriormente, todas as subcaracterísticas de cada característica foram analisadas para determinar a qualidade de uma atividade, respeitando

os pesos relacionados a cada subcaracterística. Os pesos podem ser conferidos na Tabela 2.

A Tabela de rastreabilidade 6 mostra como cada atividade foi avaliada em cada ciclo de vida do projeto seguindo a norma ISO/IEC 25010:2011 e as contribuições de (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010). As células coloridas mostram que a característica assinalada e suas respectivas subcaracterísticas foram analisadas para medir a qualidade de uma atividade. Todas as subcaracterísticas de uma característica foram consideradas para realizar a análise de uma atividade, por isso, a Tabela 6 deixa somente a característica explícita. Todas as subcaracterísticas avaliadas podem ser vistas na Figura 1 presente no Capítulo 3.

Tabela 6 – Rastreabilidade das características analisadas em cada atividade, seguindo a norma ISO/IEC 25010:2011 e as contribuições de (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010)

Atividade	ISSO/IEC 25010:2011							
	Funcionalidade	Desempenho	Compatibilidade	Usabilidade	Confiabilidade	Segurança	Manutibilidade	Portabilidade
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								

Atividade	Contribuições de (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010)	
	Testabilidade	Reusabilidade
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		

Desta forma tanto a norma ISO/IEC 25010:2011 quanto as contribuições feitas por

(KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010) foram utilizadas para mensurar o indicador de qualidade QRA (Qualidade Real Alcançada) de todas as atividades nas fases do ciclo de vida do projeto.

A equação 3.4 foi utilizada para calcular o Indicador de Desempenho de Qualidade (IDQ) das atividades do projeto, levando em consideração  $QRD = 1$ , para indicar que a qualidade desejada de todas as atividades é sempre o máximo, ou seja, 100%.

A Tabela 7 mostra QRD, QRA, IDQ e a porcentagem referente a IDQ (IDQ(%)) das atividades executadas nas fases do ciclo de vida do projeto. A primeira atividade na fase de elaboração foi executada com 100% de qualidade, já a última atividade foi executada com 50% de qualidade.

Para entender como cada atividade foi analisada, basta olhar o número da atividade e conferir na Tabela de rastreabilidade 6 as características assinaladas.

Os valores adquiridos de QRA foram calculados utilizando a Equação 3.1 com base nos pesos de cada subcaracterística ilustrados na Tabela 2 e nas questões objetivas mostradas no Apêndice B.

Tabela 7 – Informações de qualidade nas fases do ciclo de vida do projeto

Elaboração					Implementação				
Atividade	QRD	QRA	IDQ	IDQ(%)	Atividade	QRD	QRA	IDQ	IDQ(%)
1	1,0	1,0	1,000	100%	1	1,0	0,78	0,778	78%
2	1,0	0,8	0,800	80%	2	1,0	0,68	0,684	68%
3	1,0	0,5	0,500	50%	3	1,0	0,74	0,744	74%
4	1,0	0,5	0,500	50%	4	1,0	0,55	0,553	55%
5	1,0	0,8	0,800	80%	5	1,0	0,62	0,622	62%
6	1,0	0,6	0,600	60%	6	1,0	0,54	0,542	54%
7	1,0	0,70	0,700	70%	7	1,0	0,57	0,571	57%
8	1,0	0,4	0,400	40%	8	1,0	0,51	0,508	51%
9	1,0	0,5	0,500	50%	9	1,0	0,70	0,701	70%
10	1,0	0,9	0,900	90%	10	1,0	0,74	0,738	74%
11	1,0	1,0	1,000	100%	11	1,0	0,65	0,651	65%
12	1,0	0,7	0,700	70%	12	1,0	0,45	0,454	45%
13	1,0	0,5	0,500	50%	13	1,0	0,83	0,834	83%
14	1,0	0,3	0,300	30%	14	1,0	0,93	0,933	93%
15	1,0	0,5	0,500	50%	15	1,0	0,44	0,442	44%
16	1,0	1,0	1,000	100%	16	1,0	0,51	0,507	51%
17	1,0	0,5	0,500	50%	17	1,0	0,94	0,944	94%

Testes					Verificação				
Atividade	QRD	QRA	IDQ	IDQ(%)	Atividade	QRD	QRA	IDQ	IDQ(%)
1	1,0	0,91	0,905	91%	1	1,0	0,45	0,445	45%
2	1,0	0,78	0,778	78%	2	1,0	0,64	0,635	64%
3	1,0	0,54	0,544	54%	3	1,0	0,50	0,498	50%
4	1,0	0,53	0,533	53%	4	1,0	0,62	0,616	62%
5	1,0	0,11	0,107	11%	5	1,0	0,89	0,887	89%
6	1,0	0,77	0,772	77%	6	1,0	0,62	0,621	62%
7	1,0	0,83	0,831	83%	7	1,0	0,46	0,456	46%
8	1,0	0,36	0,356	36%	8	1,0	0,74	0,741	74%
9	1,0	0,78	0,782	78%	9	1,0	0,76	0,757	76%
10	1,0	0,63	0,628	63%	10	1,0	0,84	0,839	84%
11	1,0	0,74	0,738	74%	11	1,0	0,77	0,766	77%
12	1,0	0,87	0,872	87%	12	1,0	0,79	0,788	79%
13	1,0	0,64	0,645	64%	13	1,0	0,72	0,719	72%
14	1,0	0,46	0,461	46%	14	1,0	0,61	0,614	61%
15	1,0	0,81	0,815	81%	15	1,0	0,57	0,568	57%
16	1,0	0,82	0,815	82%	16	1,0	0,89	0,895	89%
17	1,0	0,89	0,894	89%	17	1,0	0,52	0,522	52%

### 3. Calcular o Custo de Correção de Qualidade (CCQ) e o Custo Real de Qualidade do Projeto (CRQPACum)

Os valores apresentados na Tabela 8 mostram todos os indicadores de qualidade gerados segundo os dados do projeto. É possível observar que os valores de CCQ na Tabela 8 são nulos quando o IDQ daquela atividade atinge 100%, ou seja, quando a atividade é executada de acordo com a qualidade desejada, não é gerado custo adicional.

Da mesma maneira, quando uma atividade não atinge a qualidade desejada, CCQ é atualizado com um valor de correção. O valor de correção é levado em consideração no cálculo de CRQPACum. Como CRQPACum não é igual a CRAcum, este projeto apresentou atividades que não atingiram a qualidade desejada, vide a Tabela 7.

Caso CRQPACum fosse igual a CRAcum ao longo do projeto, ou seja, o Custo Real de Qualidade do Projeto fosse igual ao Custo Real do Projeto, todas as atividades teriam o IDQ igual a 1 e não existiria Custo de Correção de Qualidade (CCQ).

A Equação 3.5 foi utilizada para calcular o valor de CCQ e a Equação 3.6 foi utilizada para calcular o valor de CRQPACum, para cada atividade nas fases do ciclo de vida do projeto, como mostra a Tabela 8.

### 4. Calcular o Valor Planejado de Qualidade (VPQ)

Analisando a Tabela 8, é possível perceber que VPQAcum é igual a VPACum na primeira atividade executada, pois esta atividade tem um IDQ igual a 100%. De maneira geral, esta análise quer dizer que o que foi planejado para ser entregue dentro da qualidade, foi entregue.

A partir da segunda atividade do projeto a qualidade começa a apresentar valores inferiores a 1, como demonstrado pela Tabela 7.

A não conformidade, ou a execução de atividades de forma a não atingir a qualidade desejada, impacta no restante da execução do projeto e VPQAcum (técnica proposta) passa a ser diferente de VPACum (técnica tradicional de GVA).

Desta forma, a interpretação destes dados informa que o que foi planejado para ser entregue dentro da qualidade, não está sendo entregue, ou seja, a medida que a qualidade começa a cair, mais custo começa a ser gerado e menor é o montante de trabalho finalizado dentro da qualidade entregue ao cliente.

Caso VPQAcum fosse igual a VPACum, IDQ para todas as atividades seria 1 e o trabalho entregue ao cliente seria exatamente o planejado.

A Equação 3.7 foi utilizada para calcular VPQAcum.

### 5. Calcular os Indicadores de Custo e Prazo (IDCQAcum) e (IDPQAcum)

IDCQAcum e IDPQAcum presentes na Tabela 8 podem ser comparados ao IDCAcum e IDPAcum presentes na Tabela 5. Estes valores representam a diferença entre a técnica tradicional e a técnica proposta.

IDCQAcum e IDPQAcum levam em consideração os indicadores de qualidade das atividades e fazem uma nova projeção baseada nesses dados. IDCQAcum e IDPQAcum demonstram que a falta de qualidade, ou a não conformidade, a partir da segunda atividade do projeto faz com que a projeção inicialmente feita e disponível na Tabela 5 em IDCAcum e IDPAcum seja otimista, não levando em consideração a qualidade das atividades.

Quando os dados da qualidade são coletados e a técnica proposta utilizada para realizar as projeções, é possível perceber que a execução das atividades fora da qualidade esperada, ou seja, com falta de qualidade, causa um impacto significativo nos indicadores de custo e prazo, gerando projeções mais realistas demonstradas na Tabela 8 para IDCQAcum e IDPQAcum.

Projeções mais realistas ajudam o gerente de projetos a tomar melhores decisões estratégicas, tais como: i) probabilidade de se finalizar o projeto dentro de um orçamento pré-estabelecido, ii) finalizar o projeto dentro do prazo estipulado e iii) atingir o nível de qualidade esperado ao longo do desenvolvimento do projeto.

A Equação 3.9 foi utilizada para calcular IDCQAcum e a Equação 3.8 foi utilizada para calcular IDPQAcum.

Tabela 8 – Informações de qualidade (CCQ, CRQP, VPQ, IDCQ e IDPQ)

Atividade	Elaboração						
	VPAcum	CRAcum	CCQ	CRQPAcum	VPQAcum	IDCQAcum	IDPQAcum
1	R\$ 83,29	R\$ 16,97	R\$ -	R\$ 16,97	R\$ 83,29	4,908	1,000
2	R\$ 236,17	R\$ 37,52	R\$ 5,14	R\$ 37,52	R\$ 205,60	5,480	0,871
3	R\$ 336,20	R\$ 58,33	R\$ 20,81	R\$ 63,47	R\$ 255,61	4,027	0,760
4	R\$ 398,17	R\$ 64,88	R\$ 6,55	R\$ 90,83	R\$ 286,60	3,155	0,720
5	R\$ 441,28	R\$ 70,73	R\$ 1,46	R\$ 103,23	R\$ 321,09	3,110	0,728
6	R\$ 461,21	R\$ 79,04	R\$ 5,54	R\$ 113,00	R\$ 333,04	2,947	0,722
7	R\$ 520,33	R\$ 106,42	R\$ 11,74	R\$ 145,92	R\$ 374,42	2,566	0,720
8	R\$ 617,70	R\$ 125,80	R\$ 29,07	R\$ 177,04	R\$ 413,37	2,335	0,669
9	R\$ 667,81	R\$ 138,32	R\$ 12,52	R\$ 218,63	R\$ 438,42	2,005	0,657
10	R\$ 720,75	R\$ 161,78	R\$ 2,61	R\$ 254,61	R\$ 486,07	1,909	0,674
11	R\$ 787,98	R\$ 163,82	R\$ -	R\$ 259,25	R\$ 553,30	2,134	0,702
12	R\$ 852,92	R\$ 182,86	R\$ 8,16	R\$ 278,29	R\$ 598,77	2,152	0,702
13	R\$ 920,29	R\$ 193,67	R\$ 10,81	R\$ 297,26	R\$ 632,45	2,128	0,687
14	R\$ 1.048,89	R\$ 227,25	R\$ 78,36	R\$ 341,66	R\$ 671,03	1,964	0,640
15	R\$ 1.240,04	R\$ 273,01	R\$ 45,76	R\$ 465,78	R\$ 766,60	1,646	0,618
16	R\$ 1.279,83	R\$ 332,23	R\$ -	R\$ 570,76	R\$ 806,39	1,413	0,630
17	R\$ 1.374,86	R\$ 369,53	R\$ 37,30	R\$ 608,05	R\$ 853,91	1,404	0,621

Atividade	Implementação						
	VPAcum	CRAcum	CCQ	CRQPAcum	VPQAcum	IDCQAcum	IDPQAcum
1	R\$ 2.082,68	R\$ 494,63	R\$ 35,75	R\$ 770,45	R\$ 1.404,41	1,823	0,674
2	R\$ 2.960,32	R\$ 938,06	R\$ 205,19	R\$ 1.249,63	R\$ 2.004,40	1,604	0,677
3	R\$ 4.227,44	R\$ 1.232,39	R\$ 101,15	R\$ 1.749,15	R\$ 2.947,45	1,685	0,697
4	R\$ 4.853,12	R\$ 1.462,96	R\$ 186,36	R\$ 2.080,87	R\$ 3.293,46	1,583	0,679
5	R\$ 5.225,27	R\$ 1.533,01	R\$ 42,58	R\$ 2.337,28	R\$ 3.524,92	1,508	0,675
6	R\$ 5.857,74	R\$ 1.720,14	R\$ 157,81	R\$ 2.566,99	R\$ 3.868,03	1,507	0,660
7	R\$ 6.896,39	R\$ 2.619,16	R\$ 675,82	R\$ 3.623,83	R\$ 4.460,96	1,231	0,647
8	R\$ 7.497,01	R\$ 3.122,65	R\$ 486,76	R\$ 4.803,14	R\$ 4.766,34	0,992	0,636
9	R\$ 8.451,65	R\$ 3.287,53	R\$ 70,29	R\$ 5.454,78	R\$ 5.435,65	0,996	0,643
10	R\$ 8.789,54	R\$ 3.336,20	R\$ 17,30	R\$ 5.573,74	R\$ 5.684,93	1,020	0,647
11	R\$ 9.196,54	R\$ 3.511,81	R\$ 94,21	R\$ 5.766,65	R\$ 5.949,82	1,032	0,647
12	R\$ 9.952,85	R\$ 3.576,66	R\$ 77,91	R\$ 5.925,71	R\$ 6.293,38	1,062	0,632
13	R\$ 10.561,72	R\$ 3.685,39	R\$ 21,60	R\$ 6.112,36	R\$ 6.801,34	1,113	0,644
14	R\$ 11.724,07	R\$ 4.112,17	R\$ 30,61	R\$ 6.560,73	R\$ 7.885,89	1,202	0,673
15	R\$ 11.877,52	R\$ 5.810,02	R\$ 2.141,25	R\$ 8.289,20	R\$ 7.953,76	0,960	0,670
16	R\$ 12.954,08	R\$ 6.635,34	R\$ 803,34	R\$ 11.255,77	R\$ 8.499,30	0,755	0,656
17	R\$ 13.746,79	R\$ 6.796,28	R\$ 9,50	R\$ 12.220,05	R\$ 9.247,85	0,757	0,673

Atividade	Testes						
	VPAcum	CRAcum	CCQ	CRQPAcum	VPQAcum	IDCQAcum	IDPQAcum
1	R\$ 13.869,54	R\$ 6.920,48	R\$ 12,99	R\$ 12.353,74	R\$ 9.358,98	0,758	0,675
2	R\$ 14.089,45	R\$ 7.045,30	R\$ 35,68	R\$ 12.491,55	R\$ 9.530,00	0,763	0,676
3	R\$ 14.480,74	R\$ 7.291,34	R\$ 206,21	R\$ 12.773,27	R\$ 9.742,88	0,763	0,673
4	R\$ 14.636,43	R\$ 7.391,53	R\$ 87,86	R\$ 13.079,67	R\$ 9.825,82	0,751	0,671
5	R\$ 14.722,98	R\$ 7.483,85	R\$ 773,10	R\$ 13.259,85	R\$ 9.835,05	0,742	0,668
6	R\$ 14.963,38	R\$ 7.566,87	R\$ 24,51	R\$ 14.115,97	R\$ 10.020,65	0,710	0,670
7	R\$ 15.019,82	R\$ 7.870,84	R\$ 61,71	R\$ 14.444,45	R\$ 10.067,57	0,697	0,670
8	R\$ 15.333,03	R\$ 7.882,71	R\$ 21,43	R\$ 14.518,04	R\$ 10.179,22	0,701	0,664
9	R\$ 15.397,71	R\$ 7.946,47	R\$ 17,75	R\$ 14.603,23	R\$ 10.229,82	0,701	0,664
10	R\$ 15.510,72	R\$ 7.982,74	R\$ 21,50	R\$ 14.657,24	R\$ 10.300,76	0,703	0,664
11	R\$ 15.759,83	R\$ 8.003,66	R\$ 7,41	R\$ 14.699,67	R\$ 10.484,72	0,713	0,665
12	R\$ 15.836,69	R\$ 8.073,73	R\$ 10,25	R\$ 14.777,15	R\$ 10.551,77	0,714	0,666
13	R\$ 16.000,24	R\$ 8.174,40	R\$ 55,49	R\$ 14.888,07	R\$ 10.657,20	0,716	0,666
14	R\$ 16.491,09	R\$ 8.401,20	R\$ 265,62	R\$ 15.170,36	R\$ 10.883,28	0,717	0,660
15	R\$ 16.946,47	R\$ 8.602,65	R\$ 45,76	R\$ 15.637,43	R\$ 11.254,36	0,720	0,664
16	R\$ 17.500,88	R\$ 8.774,88	R\$ 39,02	R\$ 15.855,42	R\$ 11.706,37	0,738	0,669
17	R\$ 17.678,08	R\$ 8.880,99	R\$ 12,64	R\$ 16.000,55	R\$ 11.864,71	0,742	0,671

Atividade	Verificação						
	VPAcum	CRAcum	CCQ	CRQPAcum	VPQAcum	IDCQAcum	IDPQAcum
1	R\$ 17.769,23	R\$ 9.026,75	R\$ 181,49	R\$ 16.158,95	R\$ 11.905,31	0,737	0,670
2	R\$ 17.935,07	R\$ 9.031,26	R\$ 2,58	R\$ 16.344,94	R\$ 12.010,69	0,735	0,670
3	R\$ 18.075,42	R\$ 9.041,01	R\$ 9,84	R\$ 16.357,28	R\$ 12.080,53	0,739	0,668
4	R\$ 18.143,84	R\$ 9.073,73	R\$ 20,36	R\$ 16.399,85	R\$ 12.122,70	0,739	0,668
5	R\$ 18.186,35	R\$ 9.080,05	R\$ 0,80	R\$ 16.426,53	R\$ 12.160,43	0,740	0,669
6	R\$ 18.259,34	R\$ 9.085,43	R\$ 3,29	R\$ 16.432,71	R\$ 12.205,72	0,743	0,668
7	R\$ 18.334,70	R\$ 9.094,25	R\$ 10,51	R\$ 16.444,82	R\$ 12.240,09	0,744	0,668
8	R\$ 18.458,70	R\$ 9.101,43	R\$ 2,51	R\$ 16.462,52	R\$ 12.332,01	0,749	0,668
9	R\$ 18.559,00	R\$ 9.107,72	R\$ 2,02	R\$ 16.471,32	R\$ 12.407,90	0,753	0,669
10	R\$ 18.573,04	R\$ 9.113,55	R\$ 1,12	R\$ 16.479,17	R\$ 12.419,68	0,754	0,669
11	R\$ 18.650,00	R\$ 9.123,45	R\$ 3,03	R\$ 16.490,19	R\$ 12.478,62	0,757	0,669
12	R\$ 18.734,01	R\$ 9.126,75	R\$ 0,88	R\$ 16.496,51	R\$ 12.544,86	0,760	0,670
13	R\$ 18.810,68	R\$ 9.135,13	R\$ 3,27	R\$ 16.505,77	R\$ 12.600,00	0,763	0,670
14	R\$ 19.283,97	R\$ 9.509,03	R\$ 235,27	R\$ 16.882,95	R\$ 12.890,50	0,764	0,668
15	R\$ 19.490,30	R\$ 9.680,39	R\$ 130,15	R\$ 17.289,58	R\$ 13.007,77	0,752	0,667
16	R\$ 19.712,81	R\$ 9.838,93	R\$ 18,63	R\$ 17.578,26	R\$ 13.206,87	0,751	0,670
17	R\$ 19.790,97	R\$ 9.840,83	R\$ 1,74	R\$ 17.598,79	R\$ 13.247,70	0,753	0,669

## 4

# AVALIAÇÃO DA EXTENSÃO DA TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DO VALOR AGREGADO ATRAVÉS DE UMA METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Este capítulo descreve o estudo de viabilidade executado, de acordo com a metodologia baseada em experimentação que guiou o desenvolvimento e aperfeiçoamento da técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) utilizando dados da qualidade simulados. Os resultados desses estudos fornecem indícios de viabilidade da técnica em questão.

### 4.1 Introdução

De acordo com (KITCHENHAM, 2004), nenhuma ciência pode avançar sem experimentação e medição. Estudos experimentais devem ser realizados e repetidos para fornecer credibilidade à pesquisa em Engenharia de Software, tornando público a outros pesquisadores o conhecimento utilizado na execução de um experimento e permitindo, desta forma, um melhor entendimento e análise do estudo realizado. A meta com a execução e repetição dos estudos experimentais é construir um corpo de conhecimento baseado em experimentação que identifica as vantagens e os custos das diferentes técnicas e ferramentas de apoio à Engenharia de Software (SHULL; CARVER; TRAVASSOS, 2001).

Segundo (SHULL; CARVER; TRAVASSOS, 2001), a utilização de estudos experimentais pode prover validação para diferentes tecnologias utilizadas na Engenharia de Software, avaliando a eficácia de métodos, técnicas e ferramentas em diferentes ambientes de desenvolvimento, assim como auxiliando a identificar problemas presentes em novas tecnologias propostas.

Este capítulo apresenta um estudo de viabilidade executado, conforme proposto na metodologia.

## 4.2 Definição e Planejamento do Estudo de Viabilidade da Técnica Proposta

Segundo a metodologia experimental, apresentada na Seção 1.4, a questão de pesquisa a ser respondida é “Os resultados da aplicação da técnica são viáveis?”. Esta questão avalia se a nova técnica satisfaz o objetivo geral para o qual foi criada. De maneira geral, o objetivo do estudo foi avaliar se as técnicas ofereciam maior previsibilidade de custo que a técnica de GVA tradicional. Para esse tipo de avaliação, (SHULL; CARVER; TRAVASSOS, 2001) recomendam a execução de um estudo de viabilidade, visto que este tipo de estudo permite testar a eficácia da tecnologia, de forma a justificar (ou não) a continuação da pesquisa.

A técnica apresentada no Capítulo 3 foi avaliadas através de um estudo de viabilidade, no qual o objetivo era medir sua exatidão. Segundo o (PMI, 2011), exatidão significa que o valor medido está bem próximo do valor correto.

Segundo o paradigma Goal Question Metrics – GQM (BASILI; CALDIERA; ROMBACH, 1994), este estudo de viabilidade pode ser definido da seguinte forma:

- **Analisar:** a técnica proposta para a realização da Estimativa do Indicador de Desempenho de Custo (IDC) e Indicador de Desempenho de Prazo (IDP) com a componente de qualidade
- **Com o propósito de:** caracterizar
- **Com respeito à:** exatidão do IDC e IDP
- **Do ponto de vista dos:** pesquisadores da técnica
- **No contexto de:** um projeto de desenvolvimento de software

Dessa forma, para medir a exatidão da técnica comparou-se o Indicador de Desempenho de Custo (IDCAcum) e Indicador de Desempenho de Prazo (IDPAcum) da técnica tradicional de GVA com o Indicador de Desempenho de Custo com Qualidade (IDCQAcum) e o Indicador de Desempenho de Prazo com Qualidade (IDPQA-cum) gerados pela técnica proposta. A exatidão ou erro das técnicas foi medido ao longo da execução do projeto.

A exatidão ou erro da técnica pode ser calculado para qualquer um dos indicadores (IDCAcum, IDCQAcum, IDPQA-cum ou IDPQA-cum), utilizando uma variação da equação de exatidão ou erro proposta por (SOUZA; ROCHA, 2013) e (SOUZA et al., 2014):

$$ErroIndicador(a) = \left| 1 - \frac{Indicador(a)}{IndicadorcomQualidadeAcum.} \right| \quad (4.1)$$

Por exemplo, se a equação 4.1 fosse aplicada para calcular a exatidão do indicador IDC:

$$Erro(IDC(a)) = \left| 1 - \frac{IDC(a)}{IDCQ(Acum)} \right| \quad (4.2)$$

Comparando o resultado da equação 4.1 para os indicadores, é possível perceber o quanto a técnica proposta erra em relação a técnica tradicional ao realizar a projeção destes indicadores.

Como o estudo de viabilidade é um estudo experimental, ele também está sujeito a um conjunto de ameaças, as quais podem afetar ou limitar a validade dos resultados apresentados. Segundo (WOHLIN et al., 2000), as possíveis ameaças de um estudo experimental são (SOUZA et al., 2014) e (SOUZA; ROCHA, 2013):

- **Ameaças à Validade Interna:** são eventos não controlados pelo pesquisador, que podem produzir distorções no resultado esperado. Foi considerado ameaça à validade interna os possíveis erros nas equações que compõe as simulações. Para minimizar a ameaça apresentada, o modelo de simulação evoluiu em mais de 20 diferentes versões, o que minimizou as chances de erro, e todas as informações necessárias para que outro pesquisador refaça a simulação, foram disponibilizadas no decorrer desta dissertação.
- **Ameaças à Validade Externa:** prejudicam a generalização dos resultados do estudo. Uma das ameaças à validade externa está relacionada à realização das simulações. Os estudos de viabilidade foram executados apenas com a realização de simulações. A justificativa para a realização de simulações é a possibilidade de garantir uma maior cobertura de cenários de teste para as novas técnicas (o que seria impraticável se usado dados de projetos reais da indústria, dado a dificuldade de se obter tais dados). A utilização de dados de mercado possibilitaria uma pequena cobertura de cenários de projetos, e poderia abortar a pesquisa precipitadamente.
- **Ameaças à Validade de Conclusão:** prejudicam o estabelecimento de relacionamentos estatísticos. Foi realizado um teste estatístico para a questão e hipótese levantada sobre a técnica proposta. Entretanto, o número de amostras utilizadas foi de 17 projetos, para o teste estatístico. O objetivo foi simular inclusive um número limitado de amostras, porque essa seria a situação mais comum a ser encontrada no mercado. Na maior parte dos casos, buscou-se utilizar testes estatísticos que utilizassem distribuição condizente com o tamanho da amostra. Portanto, dado o tamanho das amostras, pode haver limitação nos resultados.

- **Ameaças à Validade de Constructo:** são eventos que podem prejudicar a medição correta no estudo. Como o estudo de viabilidade foi conduzido utilizando-se simulações, não foi possível coletar o tempo gasto pelos gerentes de projetos para coleta e geração dos indicadores de desempenho.

### 4.3 Caracterização do Projeto

Uma dificuldade relacionada ao estudo foi a falta de dados da qualidade que representassem efetivamente como uma atividade foi executada. Existe também uma grande dificuldade em obter dados relacionados ao desempenho de custo como relatado por (LIPKE, 2004a; LIPKE, 2004b; IRANMANESH; MOJIR; KIMIAGARI, 2007; ATTARZADEH; HOCK, 2009a; ATTARZADEH; HOCK, 2009b).

Dessa forma, optou-se por uma avaliação da técnica proposta, através da realização de simulações dos dados dos projetos, de maneira similar aos estudos conduzidos por (LIPKE, 2004a; LIPKE, 2004b; IRANMANESH; MOJIR; KIMIAGARI, 2007; ATTARZADEH; HOCK, 2009a; ATTARZADEH; HOCK, 2009b).

Para a simulação foi utilizada a ferramenta *Microsoft Excel*, para gerar e armazenar dados de esforço, qualidade e conseqüentemente custo, além de informações de existência ou não de defeitos e o respectivo esforço para corrigí-los. A ferramenta *Oracle Crystal Ball* foi utilizada para a elaboração de macros que gerassem diversas simulações e as comparassem (feito a partir do segundo estudo de viabilidade) utilizando gráficos e tabelas de valores gerados pela simulação.

### 4.4 Estudo de Viabilidade da Técnica de GVA com Dados da Qualidade

O estudo de viabilidade teve como objetivo responder a pergunta principal: “A técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) tradicional apresenta maior Exatidão (menor Erro) dos indicadores tradicionais (IDC e IDP) que a técnica GVA com dados da qualidade (IDCQ e IDPQ)?”

Dessa forma foram estabelecidas as seguintes hipóteses para avaliar a exatidão das técnicas:

- **H0Exatidão:** a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão de IDCAcum e IDPAcum menor igual à técnica de GVA com dados da qualidade.  $H0Exatidão(custo) = (Erro(IDCAcum)_{GVA\ Tradicional} - Erro(IDCQAcum)_{GVA\ com\ Qualidade} \leq 0)$ .

$H0Exatidão(prazo) = (\text{Erro}(\text{IDPAcum}) \text{ GVA Tradicional} - \text{Erro}(\text{IDPQAcum}) \text{ GVA com Qualidade} \leq 0)$ .

- **H1Exatidão:** a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão de IDCAcum e IDPAcum inferior à técnica de GVA com dados da qualidade.  $H1Exatidão(custo) = (\text{Erro}(\text{IDCAcum}) \text{ GVA Tradicional} - \text{Erro}(\text{IDCQAcum}) \text{ GVA com Qualidade} > 0)$ .

$H1Exatidão(prazo) = (\text{Erro}(\text{IDPAcum}) \text{ GVA Tradicional} - \text{Erro}(\text{IDPQAcum}) \text{ GVA com Qualidade} > 0)$ .

Para responder essas perguntas, foram realizadas diversas simulações. A ferramenta *Microsoft Excel* e *Oracle Crystal Ball* foram utilizadas para gerar o esforço planejado ( $EsfEstAcum$ ) e o esforço real ( $EsfRealAcum$ ) para um conjunto de atividades de possíveis fases do ciclo de vida de um projeto de software. Essas ferramentas tiveram as equações apresentadas anteriormente embutidas na lógica de simulação para gerar dados capazes de demonstrar o comportamento desta proposta ao ser utilizada para indicar o desempenho de projetos de software com relação aos custos e prazos. Os dados gerados serão demonstrados nas seções seguintes.

## 4.5 Simulação da Técnica Proposta

A simulação computacional de sistemas, ou simplesmente simulação, é a utilização de certas técnicas matemáticas, empregadas em sistemas de computadores, as quais permitem imitar o funcionamento de praticamente qualquer tipo de operação ou processo do mundo real, ou seja, é o estudo do comportamento de sistemas reais através do execução de modelos (HARRELL, 1992).

Existem diversas definições para a simulação, dentre elas pode-se citar a de (PEGDEN; SADOWSKI; SHANNON, 1995) que diz “a simulação é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”. Desta maneira, podemos entender a simulação como um processo amplo que engloba não apenas a construção do modelo, mas todo o método experimental que se segue, buscando:

Descrever o comportamento do sistema; Construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas; Usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação. Conforme descrito por (SCHRIBER, 1989), para o autor a “simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real em uma sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo”.

Ainda com relação à simulação pode-se citar a definição de (LAW; KELTON, 1999) que considera a simulação como uma técnica que utiliza computadores para imitar as operações de vários tipos de processos e facilidades do mundo real.

Uma definição mais prática é aquela proposta por (KELTON; SADOWSKI; SADOWSKI, 1997) que diz “simulação é o processo de projetar e criar um modelo em um computador de um sistema real ou proposto para o propósito de conduzir experimentos numéricos para nos dar uma melhor compreensão do comportamento de um dado sistema dada uma série de condições.”

Dessa forma, a simulação tem sido cada vez mais utilizada por organizações dos mais diversos setores, uma vez que permite questionar ou constatar soluções, com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente.

O crescimento do uso da modelagem e simulação deve-se principalmente a atual facilidade do uso, sofisticação dos ambientes e desenvolvimento de modelos computacionais. Esse crescimento prova o quão importante esta se tornando o modelo de simulação para as empresas e indústrias nacionais e internacionais como forma de economizar recursos e prever problemas.

Com intuito de provar que a técnica proposta nesta dissertação, que integra dados da qualidade à técnica de gerenciado de valor agregado, pode gerar uma visão diferente em projetos de software, um modelo de simulação foi desenvolvido e executado.

O modelo de simulação para esta proposta consiste em gerar uma base de dados de projetos de software com base em um projeto já executado e utilizá-lo como ponto de partida para esta simulação.

A simulação desta técnica proposta começou com a aquisição de informações de esforço de um banco de dados de projetos de software reais já executados. As informações iniciais coletadas do banco de dados mostraram que todos os valores relacionados ao esforço, tanto estimado quanto real, tinham valor mínimo, esperado e máximo. De acordo com (STEIN; KEBLIS, 2009) e (CHAU, 1995) essa informação caracteriza o uso de uma distribuição triangular para gerar mais dados usando simulação. Com as informações iniciais estimadas e reais de esforço, foi possível gerar mais informações de esforço usando simulação e, em seguida, gerar indicadores tradicionais de GVA para que pudessem ser comparados com indicadores recém-gerados pelo nova técnica técnica proposta.

O pressuposto de Qualidade também segue a mesma estimativa usando distribuição triangular apresentada pelos pressupostos de esforço. Na base de dados inicial utilizada, nenhuma atividade foi executada com menos de 50% de qualidade, para esta proposta significa dizer que QRA é sempre maior que 0,5 para indicar a qualidade maior que 50%. A simulação da proposta se baseou neste valor de 50% para ini-

ciar as simulações computacionais. Desta forma, qualidade tem o valor mínimo 0,5, representando 50% de qualidade e máximo de 1 que representa 100% de qualidade. De acordo com (STEIN; KEBLIS, 2009) e (CHAU, 1995) a distribuição triangular é usada com mais frequência quando é possível saber os valores mínimo, máximo e mais prováveis. É uma distribuição de probabilidade contínua. Há três condições para a distribuição triangular:

- a) O valor mínimo é fixo.
- b) O valor máximo é fixo.
- c) O valor mais provável está em um ponto entre os valores mínimo e máximo, formando uma distribuição em formato triangular, que mostra que valores próximos ao mínimo e máximo são menos prováveis de ocorrer do que aqueles próximos ao valor mais provável.

A base de dados inicial para esta simulação atende a todas as condições apresentadas.

O ponto de partida desta simulação consiste em alimentar o sistema com 3 variáveis pressupostas, ou seja, variáveis cujo valor é incerto: i) Esforço estimado para executar uma atividade, ii) Esforço real para executar uma atividade e iii) Informações de Qualidade (QRD, QRA e IDQ).

As informações de Qualidade (QRD, QRA e IDQ) foram coletada a partir do que foi apresentado no Capítulo 3. Seguindo a norma internacional ISO/IEC 25010:2011, as contribuições de (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010) e a Tabela 1. As questões objetivas presentes do Apêndice B também foram utilizadas para avaliar a qualidade das atividades do projeto.

Após a alimentação do sistema e a simulação ser executada 17 vezes para representar o número de projetos, a base de dados com 17 instâncias é criada e os indicadores da técnica tradicional de GVA e da técnica aqui proposta são calculados para cada instância. A Figura 2 mostra o fluxo deste modelo de simulação.

A simulação de 17 projetos segue a mesma linha de pesquisa apresentada por (SOUZA et al., 2014), onde foram utilizados dados de 17 projetos para obter o resultado da técnica proposta por (SOUZA et al., 2014). A ferramenta de simulação utilizada apresentou bom desempenho com 17 projetos e este é um número facilmente replicável com dados de projetos reais por qualquer organização que queira avaliar a técnica aqui proposta.

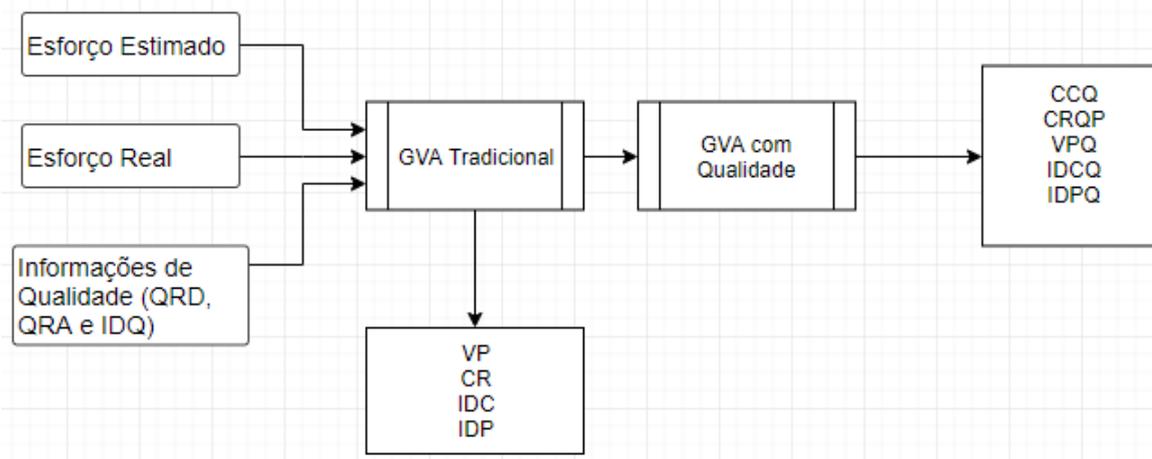


Figura 2 – Fluxo do modelo de simulação

#### 4.5.1 Simulação do Indicador de Desempenho de Qualidade (IDQ)

O primeiro indicador simulado foi o Indicador de Desempenho de Qualidade (IDQ) do projeto. A simulação deste indicador informa como a Qualidade Real Alcançada (QRA) se comportou ao longo do projeto. Como visto anteriormente na seção 3.0.1.1, IDQ trata-se de um indicador utilizado como entrada do modelo de simulação, pois todos os cálculos dependem de como a qualidade das atividades executadas no projeto se comporta e IDQ mostra exatamente o desempenho da qualidade do projeto relacionando Qualidade Real Desejada (QRD) e Qualidade Real Alcançada (QRA).

Nesta simulação, o Indicador de Desempenho de Qualidade (IDQ) variou entre 52% e 70%. Este valor indica que as atividades não foram executadas de acordo com as necessidades dos clientes, visto que a melhor atividade realizada atingiu um valor de 70% de qualidade e, portanto, será preciso retrabalho para melhorar a entrega e atingir as expectativas dos clientes, gerando custo adicional não esperado para a organização.

Este valor de IDQ será levado em consideração para o cálculo de todos os próximos indicadores do projeto. A técnica proposta demonstra que, com IDQ abaixo de 100%, a tendência é que o projeto fique acima do orçamento e fora do prazo.

#### 4.5.2 Simulação do Custo Real (CR) e Custo Real com Qualidade do Projeto (CRQP)

A seção 3.0.1.3 mostra que o valor real do projeto (CR) também é alterado caso a qualidade do trabalho executado esteja abaixo do esperado. O custo real do projeto aumenta de acordo com o retrabalho realizado para cada atividade fora da qualidade exigida.

Os valores para CR, nesta simulação, variaram de acordo com a Tabela 9. Os valores simulados de CR representam a quantidade de dinheiro gasto para a execução das atividades do projeto. CRQP representa este mesmo valor com a componente de qualidade integrada, ou seja, caso a qualidade esteja abaixo do esperado, o valor do retrabalho é somado a CR gerando CRQP. Neste caso, a variação de CRQP apresentada na Tabela 9, mostra o quão impactante pode ser a falta de qualidade na execução do trabalho. Nesta simulação a qualidade mínima atingida foi de 52%, fazendo com que CRQP chegasse ao máximo de R\$41.644,89, um valor bem maior do que o máximo de R\$12.565,45 para CR visto na simulação sem a componente de qualidade.

A Tabela 9 mostra os valores simulados de cada projeto para os indicadores Custo Real (CR) e Custo Real com Qualidade do Projeto (CRQP) em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto.

Tabela 9 – Indicadores CR e CRQP simulados em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto

Projeto	100%		75%	
	CRAcum	CRQPAcum	CRAcum	CRQPAcum
1	R\$ 9.635,48	R\$ 14.581,09	R\$ 8.798,12	R\$ 13.541,15
2	R\$ 9.065,54	R\$ 19.153,13	R\$ 8.453,14	R\$ 18.214,75
3	R\$ 10.610,70	R\$ 21.869,96	R\$ 9.854,73	R\$ 18.569,60
4	R\$ 12.166,92	R\$ 29.380,00	R\$ 11.563,25	R\$ 27.629,16
5	R\$ 11.814,59	R\$ 23.385,83	R\$ 11.078,00	R\$ 22.072,01
6	R\$ 10.819,68	R\$ 41.644,89	R\$ 9.935,18	R\$ 40.059,07
7	R\$ 11.313,98	R\$ 24.697,30	R\$ 10.814,08	R\$ 23.285,51
8	R\$ 10.553,58	R\$ 32.157,26	R\$ 10.016,66	R\$ 31.285,86
9	R\$ 12.565,45	R\$ 31.358,68	R\$ 11.647,53	R\$ 29.494,16
10	R\$ 10.846,94	R\$ 22.653,16	R\$ 10.271,56	R\$ 21.468,31
11	R\$ 12.382,28	R\$ 23.233,49	R\$ 11.795,67	R\$ 22.239,82
12	R\$ 11.352,23	R\$ 24.025,77	R\$ 10.736,26	R\$ 22.727,47
13	R\$ 11.228,88	R\$ 23.206,79	R\$ 10.368,78	R\$ 22.057,49
14	R\$ 11.141,99	R\$ 20.862,41	R\$ 10.375,01	R\$ 19.805,22
15	R\$ 11.390,97	R\$ 20.582,65	R\$ 10.778,45	R\$ 19.623,59
16	R\$ 10.414,67	R\$ 22.854,63	R\$ 9.665,72	R\$ 21.932,48
17	R\$ 11.002,75	R\$ 22.320,31	R\$ 10.479,48	R\$ 21.512,00
Projeto	50%		25%	
	CRAcum	CRQPAcum	CRAcum	CRQPAcum
1	R\$ 7.057,80	R\$ 10.385,27	R\$ 3.081,89	R\$ 4.431,61
2	R\$ 6.750,76	R\$ 14.893,67	R\$ 2.222,04	R\$ 4.061,04
3	R\$ 8.341,06	R\$ 15.442,62	R\$ 2.964,05	R\$ 4.553,16
4	R\$ 9.748,90	R\$ 21.753,00	R\$ 3.252,34	R\$ 4.481,50
5	R\$ 9.630,22	R\$ 19.383,75	R\$ 3.419,97	R\$ 8.114,12
6	R\$ 8.361,76	R\$ 35.935,05	R\$ 2.962,20	R\$ 10.624,54
7	R\$ 8.973,28	R\$ 19.190,09	R\$ 3.670,71	R\$ 8.048,58
8	R\$ 8.553,12	R\$ 25.497,50	R\$ 3.428,66	R\$ 7.936,73
9	R\$ 9.801,08	R\$ 26.281,18	R\$ 3.364,51	R\$ 15.677,18
10	R\$ 8.596,36	R\$ 18.056,85	R\$ 3.120,54	R\$ 7.053,85
11	R\$ 10.070,06	R\$ 19.138,26	R\$ 3.374,64	R\$ 8.551,19
12	R\$ 8.782,25	R\$ 17.933,16	R\$ 2.974,47	R\$ 4.359,38
13	R\$ 8.596,25	R\$ 18.852,25	R\$ 2.024,26	R\$ 7.922,75
14	R\$ 8.702,49	R\$ 16.937,31	R\$ 3.487,73	R\$ 8.528,22
15	R\$ 9.330,94	R\$ 16.166,87	R\$ 2.863,23	R\$ 6.076,93
16	R\$ 8.035,47	R\$ 17.860,54	R\$ 2.945,36	R\$ 5.796,36
17	R\$ 9.244,42	R\$ 19.053,87	R\$ 3.268,64	R\$ 5.978,25

#### 4.5.3 Simulação do Valor Planejado (VP) e Valor Planejado de Qualidade (VPQ)

O valor inicialmente planejado para ser entregue ao cliente (VP) sofre com a falta de qualidade no desenvolvimento das atividades do projeto, como explanado na

seção 3.0.1.4.

Os resultados obtidos pela simulação podem ser vistos na Tabela 10. Os valores obtidos mostram que com a qualidade abaixo do esperado, o valor entregue para o cliente tem um significado menor, ou seja, o volume de trabalho executado está abaixo do que foi inicialmente planejado devido a qualidade atingida estar abaixo de 100%.

A Tabela 10 mostra todos os valores obtidos para os indicadores Valor Planejado (VP) e Valor Planejado com Qualidade (VPQ) em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto. De acordo com o que foi explicado na Seção 3.0.1.4, pode-se comparar estes valores de VP e VPQ para verificar que a qualidade abaixo do esperado gera impactos negativos para o projeto e faz com que o cliente receba algo inferior ao que foi planejado.

Tabela 10 – Indicadores VP e VPQ simulados em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto

Projeto	100%		75%	
	VPAcum	VPQAcum	VPAcum	VPQAcum
1	R\$ 20.563,36	R\$ 14.535,77	R\$ 19.183,02	R\$ 13.516,90
2	R\$ 19.765,09	R\$ 11.645,81	R\$ 18.242,36	R\$ 10.584,12
3	R\$ 20.141,02	R\$ 11.883,27	R\$ 18.321,71	R\$ 11.030,35
4	R\$ 17.420,93	R\$ 10.789,84	R\$ 15.423,39	R\$ 9.834,60
5	R\$ 18.951,70	R\$ 11.532,02	R\$ 17.132,16	R\$ 10.460,35
6	R\$ 17.316,22	R\$ 10.253,25	R\$ 15.785,10	R\$ 9.373,31
7	R\$ 20.263,34	R\$ 11.990,52	R\$ 18.082,62	R\$ 10.670,67
8	R\$ 18.921,01	R\$ 11.020,20	R\$ 16.830,35	R\$ 9.431,61
9	R\$ 16.733,55	R\$ 10.773,82	R\$ 14.888,44	R\$ 9.666,40
10	R\$ 18.599,96	R\$ 11.368,96	R\$ 16.914,11	R\$ 10.469,45
11	R\$ 19.711,39	R\$ 13.150,71	R\$ 17.991,86	R\$ 12.100,07
12	R\$ 20.450,64	R\$ 11.418,57	R\$ 18.584,48	R\$ 10.467,01
13	R\$ 19.944,51	R\$ 12.254,53	R\$ 18.182,87	R\$ 11.000,58
14	R\$ 18.404,87	R\$ 12.125,92	R\$ 17.292,60	R\$ 11.279,36
15	R\$ 20.921,54	R\$ 13.383,38	R\$ 19.480,29	R\$ 12.457,55
16	R\$ 19.159,55	R\$ 11.158,58	R\$ 17.452,40	R\$ 9.868,31
17	R\$ 17.764,25	R\$ 10.747,03	R\$ 15.960,08	R\$ 9.416,97

Projeto	50%		25%	
	VPAcum	VPQAcum	VPAcum	VPQAcum
1	R\$ 16.742,56	R\$ 12.004,36	R\$ 6.110,42	R\$ 4.187,61
2	R\$ 14.537,49	R\$ 8.349,74	R\$ 5.527,35	R\$ 3.322,13
3	R\$ 15.307,79	R\$ 9.206,35	R\$ 5.901,33	R\$ 4.085,99
4	R\$ 12.600,76	R\$ 8.305,14	R\$ 5.245,95	R\$ 3.650,02
5	R\$ 14.059,17	R\$ 8.191,15	R\$ 5.008,79	R\$ 2.971,02
6	R\$ 12.105,35	R\$ 6.927,06	R\$ 4.610,11	R\$ 2.210,96
7	R\$ 14.445,03	R\$ 8.430,21	R\$ 4.311,77	R\$ 2.266,75
8	R\$ 13.181,46	R\$ 7.385,43	R\$ 5.286,65	R\$ 2.943,18
9	R\$ 12.402,89	R\$ 8.153,81	R\$ 5.376,62	R\$ 3.245,08
10	R\$ 13.823,53	R\$ 8.454,79	R\$ 5.403,21	R\$ 3.234,53
11	R\$ 14.888,42	R\$ 10.210,42	R\$ 4.243,87	R\$ 2.548,10
12	R\$ 15.075,36	R\$ 8.687,53	R\$ 5.292,15	R\$ 3.667,71
13	R\$ 14.570,97	R\$ 8.855,08	R\$ 4.724,10	R\$ 2.349,45
14	R\$ 13.862,79	R\$ 9.241,03	R\$ 4.121,29	R\$ 2.691,30
15	R\$ 16.426,74	R\$ 10.659,75	R\$ 6.288,11	R\$ 4.115,67
16	R\$ 14.104,59	R\$ 8.068,12	R\$ 4.775,97	R\$ 2.988,87
17	R\$ 12.553,24	R\$ 7.368,83	R\$ 3.722,75	R\$ 2.469,72

#### 4.5.4 Simulação do Indicador de Desempenho de Custo (IDC) e Indicador de Desempenho de Custo com Qualidade (IDCQ)

O indicador de desempenho de custo (IDC), como visto na seção 3.0.1.5 também sofre alterações de acordo com a qualidade do trabalho executado. Os valores si-

mulados e demonstrados até o momento (VP, VPQ, CR e CRQP) são a base para realizar o cálculo do IDC com e sem a componente de qualidade. A seção 3.0.1.5 também indica como realizar os cálculos dos indicadores e a simulação realizada mostra a diferença entre o desempenho de custo tradicional (IDC) e o desempenho de custo com a componente de qualidade integrada (IDCQ). Por definição, O IDC traz dados sobre o curso do projeto em relação ao orçamento previsto e disponível. Com o IDC, é possível mensurar quanto de retorno existe para cada valor que é investido.

- Se o IDC for igual a 1, é sinal de que o projeto está correndo como o previsto;
- Se o IDC for maior do que 1, presume-se que há economia;
- Se o IDC for menor do que 1, indica estouro do orçamento.

Esta simulação avalia também a qualidade das atividades executadas e este valor tem ação direta no desempenho de custo do projeto.

Nota-se que enquanto o valor de IDC calculado sem a componente de qualidade varia entre 1,139 no pior caso e 2,488 no melhor caso, mostrando uma faixa de valores onde existe economia e, portanto, o projeto está dentro do orçamento planejado, o valor de IDCQ varia entre 0,193 no pior caso e 1,156 no melhor. Esta discrepância ocorre devido a qualidade baixa apresentada de no mínimo 52% e máximo de 70%. Os valores de IDCQ, como visto na Tabela 11, estão, em sua maioria abaixo de 1, indicando a possibilidade de estouro de orçamento em praticamente todas as fases de execução do projeto.

Os resultados apresentados na Tabela 11 indicam, segundo a definição, que este projeto está abaixo do orçamento. O motivo pelo qual o projeto está praticamente sempre abaixo do orçamento é a falta de qualidade na execução do trabalho apontada pelo Índice de Desempenho de Qualidade (IDQ) explanado na seção 3.0.1.1 e simulado na seção 4.5.1.

Tabela 11 – Indicadores IDC e IDCQ simulados em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto

Projeto	100%		75%	
	IDCAcum	IDCQAcum	IDCAcum	IDCQAcum
1	2,134	0,997	2,18	0,998
2	2,18	0,608	2,158	0,581
3	1,898	0,543	1,859	0,594
4	1,432	0,367	1,334	0,356
5	1,604	0,493	1,547	0,474
6	1,6	0,246	1,589	0,234
7	1,791	0,485	1,672	0,458
8	1,793	0,343	1,68	0,301
9	1,332	0,344	1,278	0,328
10	1,715	0,502	1,647	0,488
11	1,592	0,566	1,525	0,544
12	1,801	0,475	1,731	0,461
13	1,776	0,528	1,754	0,499
14	1,652	0,581	1,667	0,57
15	1,837	0,65	1,807	0,635
16	1,84	0,488	1,806	0,45
17	1,615	0,481	1,523	0,438

Projeto	50%		25%	
	IDCAcum	IDCQAcum	IDCAcum	IDCQAcum
1	2,372	1,156	1,983	0,945
2	2,153	0,561	2,488	0,818
3	1,835	0,596	1,991	0,897
4	1,293	0,382	1,613	0,814
5	1,46	0,423	1,465	0,366
6	1,448	0,193	1,556	0,208
7	1,61	0,439	1,175	0,282
8	1,541	0,29	1,542	0,371
9	1,265	0,31	1,598	0,207
10	1,608	0,468	1,731	0,459
11	1,478	0,534	1,258	0,298
12	1,717	0,484	1,779	0,841
13	1,695	0,47	2,334	0,297
14	1,593	0,546	1,182	0,316
15	1,76	0,659	2,196	0,677
16	1,755	0,452	1,622	0,516
17	1,358	0,387	1,139	0,413

#### 4.5.5 Simulação do Indicador de Desempenho de Prazo (IDP) e Indicador de Desempenho de Prazo com Qualidade (IDPQ)

De maneira semelhante ao que foi apresentado na seção anterior, existe também o indicador de desempenho de prazo ou cronograma (IDP) discutido amplamente na

seção 3.0.1.5.

O IDP indica a eficiência com a qual o projeto está realmente progredindo em comparação com o cronograma planejado. Este indicador também é afetado pela falta de qualidade das atividades executadas do projeto. O IDP varia da seguinte forma:

- Se o IDP for igual a 1, é sinal de que o projeto está dentro do prazo;
- Se o IDP for maior do que 1, presume-se que o projeto está adiantado;
- Se o IDP for menor do que 1, indica que o projeto está atrasado.

Esta simulação também demonstra a diferença entre o IDP sem a componente de qualidade e com a componente de qualidade (IDPQ). Da mesma maneira como visto na seção anterior existe um atraso no prazo para entrega do projeto devida a baixa qualidade de execução das tarefas, IDPQ mostra este atraso, já que no melhor caso IDPQ tem o valor de 0,717 enquanto IDP se mantém acima de 1 durante toda execução do projeto. Novamente, o indicador que leva em consideração a componente de qualidade mostra que o projeto não está andando como deveria já que a qualidade do desenvolvimento do projeto está abaixo do esperado.

A Tabela 12 mostra todos os valores resultantes da simulação para os indicadores IDP e IDPQ. Este resultado demonstra o atraso na entrega do projeto em todas as etapas de execução (100%, 75%, 50% e 25%).

O gerente de projeto com esta informações em mãos pode tomar decisões estratégicas para que o cenário possa alterado e a organização não sofra grandes perdas.

Tabela 12 – Indicadores IDP e IDPQ simulados em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto

Projeto	100%		75%	
	IDPAcum	IDPQAcum	IDPAcum	IDPQAcum
1	2,134	0,707	2,18	0,705
2	2,18	0,589	2,158	0,58
3	1,898	0,59	1,859	0,602
4	1,432	0,619	1,334	0,638
5	1,604	0,608	1,547	0,611
6	1,6	0,592	1,589	0,594
7	1,791	0,592	1,672	0,59
8	1,793	0,582	1,68	0,56
9	1,332	0,644	1,278	0,649
10	1,715	0,611	1,647	0,619
11	1,592	0,667	1,525	0,673
12	1,801	0,558	1,731	0,563
13	1,776	0,614	1,754	0,605
14	1,652	0,659	1,667	0,652
15	1,837	0,64	1,807	0,639
16	1,84	0,582	1,806	0,565
17	1,615	0,605	1,523	0,59

Projeto	50%		25%	
	IDPAcum	IDPQAcum	IDPAcum	IDPQAcum
1	2,372	0,717	1,983	0,685
2	2,153	0,574	2,488	0,601
3	1,835	0,601	1,991	0,692
4	1,293	0,659	1,613	0,696
5	1,46	0,583	1,465	0,593
6	1,448	0,572	1,556	0,48
7	1,61	0,584	1,175	0,526
8	1,541	0,56	1,542	0,557
9	1,265	0,657	1,598	0,604
10	1,608	0,612	1,731	0,599
11	1,478	0,686	1,258	0,6
12	1,717	0,576	1,779	0,693
13	1,695	0,608	2,334	0,497
14	1,593	0,667	1,182	0,653
15	1,76	0,649	2,196	0,655
16	1,755	0,572	1,622	0,626
17	1,358	0,587	1,139	0,663

#### 4.5.6 Estudo de viabilidade da técnica proposta

Nesta seção serão apresentados os resultados para os testes de hipóteses de exatidão apresentados na Seção 4.4.

Para avaliar a exatidão, ou erro, da técnica proposta em relação a técnica tradici-

onal de GVA, a equação apresentada na Seção 4.1 foi simulada na base de dados disponível. Como afirmado por (SOUZA et al., 2014) e (SOUZA; ROCHA, 2013), o maior componente de custo em um projeto de software são as horas-homem necessárias para o desenvolvimento do produto, todas as simulações necessárias para o cálculo das medidas básicas e indicadores do EVM tradicional foram baseadas no esforço planejado e no esforço real para um conjunto de atividades de um projeto de software. Essas atividades foram calculadas usando o banco de dados disponível na ferramenta MSEXcel.

A equação 4.1 utilizada para calcular o erro ou exatidão, foi utilizada em forma de porcentagem para melhor indicar o erro. É normal que valores extrapolem a referência de 100% quando um indicador para o qual o erro está sendo calculado, possui um erro elevado, ou seja, a qualidade medida das atividades estão muito inferior ao esperado, fazendo com que o erro entre as técnicas seja muito alto.

O IDC da técnica tradicional de GVA possui um erro maior do que a técnica proposta. O erro de IDC varia entre 173% e 554% ao longo da execução do projeto. Já o indicador IDCQ proposto neste trabalho apresenta menor variação do que a técnica tradicional de GVA, pois os valores projetados para IDCQ ficam entre 16% e 112%.

Este resultado demonstra que a técnica proposta apresenta menor erro ao projetar o Indicador de Desempenho de Custo com a componente de Qualidade (IDCQ) em relação a projeção de IDC feita pela técnica tradicional de GVA. Desta forma, o IDCQ está mais próximo de informar a real situação de um projeto do que IDC.

A simulação executada também demonstra que IDC possui uma média de 314% de erro ao longo da execução do projeto enquanto IDCQ possui uma média de 52% de erro, ou seja, a técnica proposta, em média, erra muito menos do que a técnica tradicional ao fazer a projeção de custo com dados da qualidade (IDCQ).

De maneira semelhante, a projeção do Indicador de Desempenho de Prazo (IDP) da técnica tradicional de GVA e do Indicador de Desempenho de Prazo com Qualidade da técnica proposta (IDPQ), demonstra que a técnica proposta também possui menor erro ao longo da execução do projeto para os indicadores de prazo. IDP possui uma média de 229% de erro e varia entre 162% e 308% com 90% de certeza enquanto IDPQ possui uma média de 6% de erro variando entre 2% e 18%.

A Figura 3 mostra o erro dos indicadores tradicionais (IDC e IDP) junto aos erros dos indicadores propostos por este trabalho (IDCQ e IDPQ) ao final da execução dos projetos (100% de execução). O Erro apresentado pelos indicadores tradicionais estão bem mais elevados do que os apresentados pelos indicadores propostos por este trabalho que levam em consideração a qualidade do desenvolvimento.

A diferença dos erros também pode se vista na Tabela 13, que mostra o erro dos indicadores IDC, IDCQ, IDP e IDPQ em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto. A Tabela 13 mostra o resultado final das simulações feitas com relação aos erros simulados para cada indicador.

Tabela 13 – Erro ou exatidão dos indicadores em 100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto

		Erro							
		100% executado				75% executado			
Projeto		IDC	IDCQ	IDP	IDPQ	IDC	IDCQ	IDP	IDPQ
1		354%	36%	221%	6%	250%	52%	239%	11%
2		187%	21%	184%	3%	279%	38%	277%	9%
3		371%	46%	244%	4%	295%	47%	215%	4%
4		232%	68%	212%	8%	495%	92%	282%	5%
5		177%	38%	166%	5%	389%	33%	250%	9%
6		226%	33%	211%	5%	337%	76%	341%	4%
7		155%	29%	178%	3%	410%	103%	250%	12%
8		255%	29%	204%	6%	341%	59%	251%	7%
9		547%	134%	305%	10%	477%	108%	194%	8%
10		229%	51%	223%	5%	285%	70%	233%	13%
11		317%	66%	211%	6%	234%	59%	207%	7%
12		308%	36%	282%	6%	199%	27%	246%	4%
13		300%	57%	201%	5%	296%	44%	290%	6%
14		406%	58%	261%	6%	193%	24%	232%	3%
15		452%	57%	202%	7%	190%	32%	145%	9%
16		296%	58%	212%	3%	215%	12%	212%	10%
17		275%	73%	247%	5%	314%	47%	255%	6%
		50% executado				25% executado			
Projeto		IDC	IDCQ	IDP	IDPQ	IDC	IDCQ	IDP	IDPQ
1		273%	70%	261%	15%	332%	113%	318%	22%
2		314%	51%	311%	12%	392%	77%	389%	15%
3		329%	65%	242%	5%	386%	97%	288%	5%
4		565%	124%	327%	7%	719%	177%	426%	8%
5		415%	46%	268%	11%	468%	67%	306%	14%
6		395%	104%	399%	6%	533%	170%	538%	9%
7		461%	139%	285%	15%	589%	219%	372%	22%
8		373%	78%	277%	10%	459%	112%	345%	14%
9		519%	143%	215%	9%	650%	213%	282%	9%
10		318%	96%	261%	18%	370%	148%	306%	27%
11		257%	79%	229%	9%	307%	123%	274%	12%
12		213%	34%	263%	5%	213%	44%	263%	8%
13		340%	58%	333%	7%	463%	91%	454%	9%
14		210%	30%	252%	4%	252%	43%	299%	5%
15		220%	44%	170%	12%	298%	63%	236%	17%
16		216%	16%	213%	13%	217%	14%	214%	17%
17		352%	62%	287%	8%	437%	92%	360%	12%

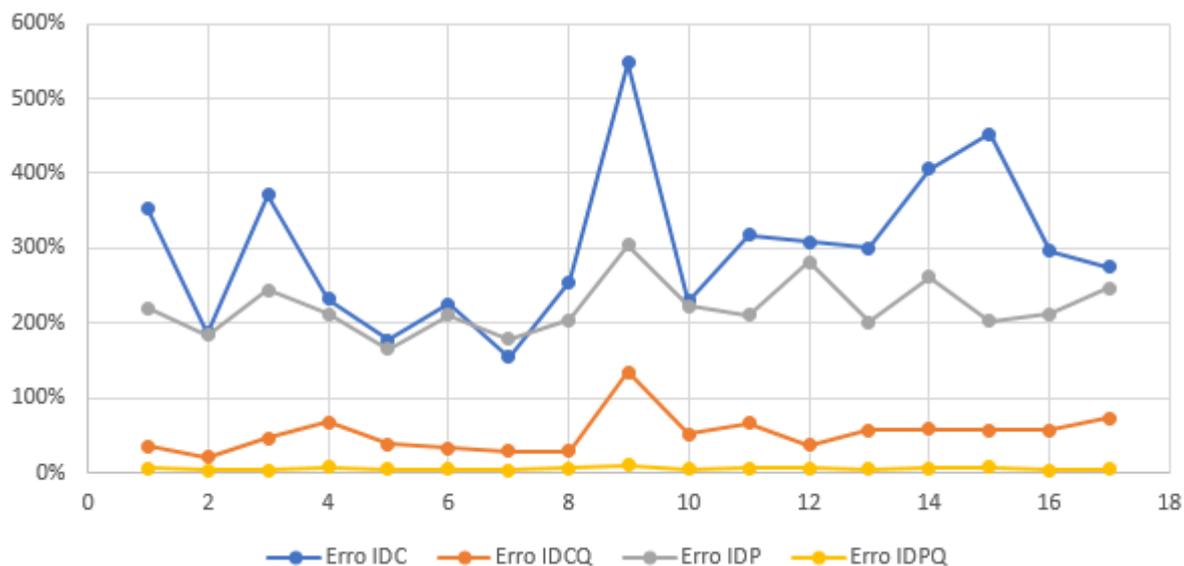


Figura 3 – Erro dos indicadores IDC, IDP, IDCQ e IDPQ ao longo da execução do projeto

Na tentativa de avaliar as hipóteses mostradas na seção 4.4, testes estatísticos baseados nos dados da Figura 3 foram realizados para confirmar que as diferenças de acerto encontrados entre a técnica proposta e a técnica tradicional foram significativas. O MSEXcel foi utilizado para realizar os testes de hipóteses de amostras T-pareadas com nível de significância de 95%.

Os valores mais importantes em um teste de hipótese, são os valores T e p. T mostra qual o nível de significância escolhido e é refletido na Tabela T Student (escolhida em decorrência do número pequeno de amostras) (LARSON; FARBER, 2004).

Para determinar se a diferença entre as médias é estatisticamente significativa, é necessário comparar o valor de p com o nível de significância. Geralmente, um nível de significância de 0,05 é adotado. Um nível de significância de 0,05 indica que o risco de se concluir que existe uma diferença, quando, na verdade, não existe nenhuma diferença real, é de 5% (LARSON; FARBER, 2004).

Assim, para qualquer resultado que apresente valor de T maior que 1,739 e valor de p menor que 0,05 deve-se considerar recusar H0 e aceitar H1.

Tabela 14 – Testes de hipótese de exatidão de IDC e IDP

Hipótese	Indicador	Testes	T	P	Resultado
H0Exatidão	IDC	Erro GVA Tradicional –	2,119	2,960E-09	Recusar H0
	IDP	Erro GVA com Qualidade <= 0	2,119	2,989E-14	

A análise dos dados na Tabela 13, Tabela 14 e Figura 3 permite inferir que a técnica proposta fornece maior exatidão nas estimativas de custo e prazo.

Por fim, as Tabelas 9, 10, 11 e 12 indicam que a técnica proposta possui melhor desempenho em todos os momentos reportados (100%, 75%, 50% e 25% de execução do projeto) para os indicadores CRQ, VPQ, IDCQ e IDPQ que levam em consideração a componente de qualidade.

# 5

## CONCLUSÃO

Neste capítulo as conclusões deste trabalho são apresentadas, resumindo os objetivos e os resultados obtidos com as avaliações realizadas na técnica proposta.

Também são apresentadas as principais contribuições e as perspectivas futuras.

### 5.1 Considerações finais

Este trabalho apresentou a técnica de GVA com dados da qualidade (QRD, QRA, IDQ, CCQ, CRQP, VPQ, IDCQ e IDPQ) que é a proposta para melhoria da técnica de GVA para realizar previsões de custo e prazo quando existem dados da qualidade disponíveis.

A técnica proposta combina a técnica tradicional com dados da qualidade coletados com base na norma ISO/IEC 25010:2011 e nas contribuições de ([KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010](#)), tais como a quantidade de tarefas realizadas e o seu respectivo requisito de qualidade.

A partir da medida de qualidade e de informações de esforço foi possível gerar novos indicadores de qualidade e fazer projeções de custo e prazo para melhor refletir a real situação de um projeto de software.

O projeto em questão foi simulado e os resultados dessa simulação foram apresentados, tornando possível concluir que a componente de qualidade influencia nos valores planejados, reais e de retrabalho do projeto, além de modificar também os indicadores tradicionais da técnica de gerenciamento de valor agregado - IDC e IDP - de forma a alterar o desempenho do projeto.

A qualidade pode fazer com que o projeto seja executado no tempo previsto ou atrase e gere custos adicionais.

A técnica proposta mostrou-se mais exata que a técnica tradicional em todos os momentos. Foram realizados testes de hipótese para confirmar os resultados para um nível de significância de 95%.

As organizações, tendo essas informações, podem tomar decisões estratégicas para melhorar a qualidade do produto entregue ao cliente, não gerar retrabalho e nem custos adicionais. É possível também melhorar a relação com os clientes e garantir que projetos sejam executados de acordo com as demandas.

## 5.2 Contribuições

As principais contribuições dessa dissertação são:

- Uma revisão sistemática, que identificou diversos problemas apresentados pela técnica de GVA e algumas propostas de solução integrando qualidade à técnica tradicional de GVA (Apêndice A);
- Uma proposta para melhorar a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado usando dados da qualidade em projetos de software.

A técnica de proposta foi validada, comparando-se sua exatidão com a exatidão da técnica de GVA tradicional. A técnica foi avaliada em 25%, 50%, 75% e 100% de execução do projeto por meio de simulações. O uso de simulações visava avaliar a técnica no maior número de cenários possíveis.

Em todas as validações que a técnica proposta foi submetida os resultados apresentaram melhor exatidão. Todas as validações de exatidão da técnica foram realizadas através de testes de hipóteses pareadas a 95% de nível de significância.

Alguns dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento desta dissertação foram registrados em artigos científicos aceitos em *16th International Conference on Information Technology : New Generations - ITNG 2019.*, a saber:

- *A Systematic Review Based on Earned Value Management and Quality.*
- *A Proposal To Improve The Earned Value Management Technique Using Quality Data in Software Projects.*

## 5.3 Perspectivas Futuras

Esta dissertação apresentou uma proposta de integração de dados da qualidade à técnica de GVA.

Esta proposta, fortemente baseada nos trabalhos feitos por (SOUZA; ROCHA, 2013) e (SOUZA et al., 2014), pode ser ainda mais refinada por trabalhos futuros.

Devem ser realizados trabalhos que consigam:

- Refinar as simulações apresentadas;
- Utilizar mais projetos reais para avaliação da técnica;
- Construir uma ferramenta de suporte ao uso e à avaliação de novos projetos.

Para que trabalhos futuros sejam desenvolvimentos, é recomendado utilizar a ferramenta *Evidence-Based Software Portfolio Management (EBSPM)*, cujo objetivo é

---

medir, analisar e avaliar o desempenho de conjuntos interconectados de projetos de software em termos de tamanho, custo, duração e número de defeitos, a fim de apoiar a inovação da capacidade de entrega de software de uma empresa ou organização ([HUIJGENS, 2016](#)).

# Apêndices

# APÊNDICE A – ESTUDO BASEADO EM REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE GERENCIAMENTO DO VALOR AGREGADO E QUALIDADE

Este capítulo descreve os resultados de um estudo secundário (revisão sistemática) realizado com o propósito de caracterizar os principais estudos que relacionam a técnica de gerenciamento de valor agregado (GVA) e qualidade em projetos. Os principais resultados deste estudo secundário são apresentados, uma vez que estes formarão a base para a proposta da nova técnica, objeto dessa dissertação.

## A.1 Introdução

Para desenvolver ou evoluir novas técnicas de análise de valor agregado que levem em consideração a componente de qualidade, é necessário caracterizar as principais publicações que estudam de alguma forma a técnica de valor agregado integrada a qualidade. Por esse motivo, foi realizado um estudo baseado em revisão sistemática procurando reduzir o viés de uma revisão informal e, também, permitir que tal pesquisa bibliográfica possa ser atualizada com novas publicações disponibilizadas ao longo do tempo.

Desta forma, foi realizado um estudo baseado em revisão sistemática sobre a integração da componente de qualidade à GVA. Foram analisados diferentes conjuntos de dados utilizados em vários trabalhos de pesquisa para encontrar as principais contribuições e medidas de qualidade adicionadas ao GVA.

Portanto, foram identificadas técnicas que relacionam qualidade com gerenciamento de valor agregado e que tenham sido aplicadas, através de estudos de caso ou de simulações, e que comprovem a sua eficácia. A partir dessa identificação, foi possível realizar uma análise das principais medidas de qualidade utilizadas por pesquisadores e desenvolvedores de software e a proposta de uma nova técnica que integre a componente de qualidade ao método de gerenciamento do valor agregado.

Este capítulo mostra os resultados da revisão sistemática, apresentando um resumo abrangente dos principais problemas com o uso da técnica de análise de valor agregado e as possíveis soluções encontradas para melhorar sua capacidade de prever o

impacto da qualidade (possíveis *bugs* ou não conformidades) no decorrer do ciclo de vida de um projeto.

Foi realizado, então, um estudo baseado em revisão sistemática procurando reduzir o viés de uma revisão informal e, também, permitir que tal pesquisa bibliográfica possa ser atualizada com novas publicações disponibilizadas ao longo do tempo. Segundo (MAFRA; BARCELOS; TRAVASSOS, 2006), a menos que a revisão da literatura seja conduzida de forma confiável e abrangente, seus resultados possuirão pouco valor científico. Muitas revisões da literatura são conduzidas informalmente, sem um planejamento e critérios de seleção estabelecidos a priori, e por isso caracterizam-se por serem pouco abrangentes, não passíveis de repetição, pouco confiáveis e dependentes dos revisores.

Dessa forma, o desenvolvimento de uma abordagem sistemática de revisão visa a estabelecer um processo formal para conduzir este tipo de investigação, evitando a introdução de eventuais vieses da revisão de literatura informal. A revisão sistemática é um tipo de estudo secundário (KITCHENHAM et al., 2009), cujo processo de pesquisa segue um conjunto de passos metodologicamente bem definidos de acordo com um protocolo prévio (KITCHENHAM et al., 2009) e cuja adoção procura reduzir o viés inerente a uma revisão informal.

Parte do trabalho envolvido em uma revisão sistemática é a calibragem das palavras-chave para a busca. (DIESTE; PADUA, 2007) comentam sobre a estratégia de busca por artigos para fazer uma revisão sistemática. Analisam o uso de termos com o objetivo de encontrar estudos experimentais na literatura e analisa o custo-benefício do uso de diferentes combinações de palavras-chave. Segundo os autores é aceitável uma taxa de 72-80% de sensibilidade (total de artigos identificados dentro do universo de busca) e 15-25% de precisão (total de artigos realmente relevantes dentro dos artigos encontrados pela busca). Algumas possíveis limitações dos mecanismos de busca que devem ser levadas em consideração: recursos bibliográficos limitados, problemas com o algoritmo de busca, falha em reconhecimento de plural e textos completos ou *abstracts* incompletos. Os autores aconselham a busca no título e no *abstract* em vez de no texto completo para melhores resultados. Além disso, comentam que dependendo do objetivo dos revisores o objetivo da estratégia de busca selecionada pode ser: maximizar a quantidade de material encontrado, maximizar a quantidade de material relevante encontrado e otimizar a quantidade de material relevante encontrado.

(DIESTE; PADUA, 2007) também fazem algumas considerações sobre os termos utilizados na busca utilizada para ilustrar o artigo: o uso combinado da palavra-chave principal com sinônimos mais proximamente relacionados melhora as propriedades da busca (sensibilidade e precisão); o uso apenas da palavra-chave princi-

pal para procurar nos títulos e *abstracts* não é de todo uma má estratégia; para reduzir o número de artigos relevantes não encontrados através da palavra-chave principal devem-se utilizar sinônimos próximos e geralmente aceitos utilizados com frequência; se for adicionado termos mais gerais à busca do que aos sinônimos mais frequentes e aceitos pode-se detectar mais artigos relevantes, mas também pode aumentar o número de artigos irrelevantes; não se deve utilizar somente os sinônimos da palavra-chave principal pois eles podem omitir um conjunto expressivo de resultados importantes. Para finalizar, duas recomendações: se a revisão sistemática deve ser exaustiva e encontrar todos os experimentos em um determinado domínio, não se deve limitar a busca apenas em publicações de renome; dependendo do tópico ou tecnologia de interesse, publicações de outras áreas devem ser exploradas. Todo o modelo utilizado para a realização do estudo baseado em revisão sistemática foi retirado de (SOUZA et al., 2014).

## A.2 Protocolo do Estudo Baseado em Revisão Sistemática

O protocolo utilizado para o estudo foi derivado dos trabalhos produzidos por (MAFRA; BARCELOS; TRAVASSOS, 2006). Para cada uma das subseções a seguir serão apresentados o que se espera a partir do protocolo e o conteúdo de fato utilizado no estudo em questão.

### A.2.1 Contexto

A técnica de Análise de Valor Agregado tem sido aplicada em diversos projetos, nos últimos 40 anos (LIPKE, 2008). Essa técnica influenciou positivamente em diversos aspectos relacionados aos resultados dos projetos, tais como: melhorou o planejamento, a avaliação dos riscos, o monitoramento, os relatórios, o controle, entre outros (LIPKE, 2006). Entretanto, poucos foram os estudos conduzidos com o intuito de analisar e avaliar a estabilidade dos indicadores de desempenho de custo e prazo levando em consideração a qualidade do projeto sendo produzido.

Para a elaboração de uma nova técnica de análise de valor agregado é de interesse a identificação de estudos que apontem problemas na técnica de análise de valor agregado tradicional, ou a confronto com outras propostas, e que identifique evoluções dela visando ao aumento da previsibilidade e da confiabilidade dos indicadores de desempenho gerados. Portanto, todos os estudos que proponham evoluções da técnica devem ter sido aplicados, através de estudos de caso ou simulação que comprovem a eficiência das novas propostas. A partir dessa identificação, é possível realizar uma análise dos problemas identificados na técnica e a proposta de uma nova técnica que integre a componente de qualidade.

O problema que será abordado nessa pesquisa é a falta da componente de qualidade nos resultados de custo e prazo dos projetos de software que utilizam a técnica de GVA. Embora essa técnica seja utilizada por diversas empresas, há mais de 35 anos, para prever resultados de prazo e de custo, muitos estudos tais como (LIPKE et al., 2009) e (HENDERSON; ZWIKAEL, 2008) constataram vulnerabilidades na técnica.

Entre as vulnerabilidades apontadas por diversos estudos, está a falta de integração de dados de qualidade à técnica de GVA. Para tentar solucionar esse problema artigos foram publicados tentando contribuir com o esforço para incluir dados de qualidade na técnica de GVA, tais como (SOLOMON, 2007); (LEU et al., 2006); (YERABOLU; INSTITUTE, 2010) e (MA; YANG, 2012). (SOLOMON, 2002) indica a utilização da *Capability Maturity Model Integration* para fortalecer a adesão da GVA, especialmente relacionado a garantia de qualidade. (YERABOLU; INSTITUTE, 2010) propôs a integração de métricas críticas de qualidade à GVA. (SOLOMON, 2007) mostra um conjunto de princípios e diretrizes que especificam medidas efetivas de performance técnica para utilização em conjunto com a GVA. A falta de medidas de qualidade na técnica GVA pode causar projeções erradas e contribuir para a entrega de projetos fora do prazo, fora do custo e sem conformidade com as necessidades dos clientes. Um indicador, por exemplo CPI ou SPI, de maneira isolada pode não transmitir o real estado do projeto caso o número de *bugs* ou não conformidades esteja acima do esperado e o gerente de projetos não consiga obter essa medida causando projeções equivocadas.

Projeções erradas podem passar resultados otimistas e postergar a execução de ações corretivas ou preventivas que melhorariam o desempenho final dos projetos, evitando atrasos e custos maiores que os estimados (LIPKE, 2003).

## A.2.2 Objetivos e questões de pesquisa

### Objetivo

**Análisar** relatos de experiência e publicações científicas através de um estudo baseado em revisão sistemática.

**Com o propósito de** identificar problemas e propostas de evolução ou melhoria na técnica de análise de valor agregado.

**Com relação à** previsibilidade dos indicadores de desempenho de custos (*Cost Performance Index - CPI*) e cronograma (*Schedule Performance Index - SPI*) e demais medidas associadas necessárias para gerar esses indicadores levando em consideração a componente de qualidade.

**Do ponto de vista** dos pesquisadores. No contexto acadêmico e industrial com foco na gerência de projetos no domínio da engenharia de software.

### A.2.3 Questões de pesquisa

#### **Questão principal**

De qual maneira pode-se integrar novas medidas de qualidade à técnica de GVA para melhorar o desempenho dos seus indicadores tradicionais (CPI e SPI) em projetos de software?

#### **Intervenção**

Técnica de análise de valor agregado

#### **Comparação**

Não se aplica.

#### **População**

Trabalhos publicados em conferências e periódicos relatando problemas da técnica de análise de valor agregado, e/ou propostas de evoluções dela utilizando medidas de qualidade e/ou comparações de novas técnicas ou de variações das técnicas ambas relacionando medidas de qualidade com a técnica tradicional.

#### **Resultados**

A partir da identificação dos problemas e questões a respeito da técnica de análise de valor agregado, pretende-se realizar uma análise mais detalhada dos problemas, questões e propostas de melhorias, com o objetivo de caracterizá-las e, se possível, propor uma nova abordagem que utilize dados de qualidade (impacto financeiro e de prazo do número de não conformidades por subprocesso e *bugs*), com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos indicadores de desempenho de custo e prazo, gerados pela técnica de análise de valor agregado tradicional.

## A.3 Escopo da pesquisa

Para delinear o escopo da pesquisa foram estabelecidos critérios para garantir, de forma equilibrada, a viabilidade da execução (custo, esforço e tempo), acessibilidade aos dados e abrangência do estudo. A pesquisa dar-se-á a partir de bibliotecas digitais através dos seus respectivos engenhos de busca e, quando os dados não estiverem disponíveis eletronicamente, através de consultas manuais.

### A.3.1 Critérios adotados para seleção das fontes

Para as bibliotecas digitais é desejado:

- Possuir engenho de busca que permita o uso de expressões lógicas ou mecanismo equivalente;
- Incluir em sua base publicações da área de exatas ou correlatas que possuam relação direta com o tema a ser pesquisado;
- Os engenhos de busca deverão permitir a busca no texto completo das publicações.

Além disso, deve-se garantir que as publicações pertençam a uma das editoras listadas no Portal de Periódicos da CAPES.

Os mecanismos de busca utilizados devem garantir resultados únicos através da busca de um mesmo conjunto de palavras-chaves. Quando isto não for possível, deve-se estudar e documentar uma forma de minimizar os potenciais efeitos colaterais desta limitação.

### A.3.2 Restrições

A pesquisa está restrita à análise de publicações obtidas, exclusivamente, a partir das fontes selecionadas a partir dos critérios supracitados.

O estudo englobará os dados disponíveis nas fontes considerando o período de 01 de janeiro de 2006 até 20 de julho de 2017. A data inicial foi escolhida em decorrência da grande quantidade de estudos na área de gerenciamento de valor agregado e na velocidade com a qual essa técnica é atualizada. Dessa forma, julgou-se que se deveria buscar publicações a partir desta data. E a data final foi escolhida a partir da data de início deste estudo.

### A.3.3 Idiomas

Para a realização desta pesquisa foram selecionados o idioma inglês e português. A escolha do idioma inglês deve-se à sua adoção pela grande maioria das conferências e periódicos internacionais relacionados como tema de pesquisa e por ser o idioma utilizado pela maioria das editoras relacionadas com o tema listadas no Portal de Periódicos da CAPES. A escolha do idioma português deve-se à sua adoção pelas principais conferências e periódicos nacionais da área de Engenharia de Software.

## A.4 Métodos de Busca de Publicações

As fontes digitais serão acessadas via Web, através de expressões de busca pré-estabelecidas. Caso não seja possível obter o artigo completo através dos sites de busca, os autores dos artigos deverão ser contatados via e-mail.

As publicações das fontes não-digitais serão analisadas manualmente, quando disponíveis, considerando a expressão de busca definida.

### **Expressão de Busca**

Para artigos em inglês deve-se utilizar a expressão de busca abaixo:

("Earned Value Management"AND Quality).

Para artigos em Português deve-se utilizar a expressão de busca abaixo:

("Gerenciamento de valor agregado"E qualidade).

### **Busca Manual**

Quando a consulta for manual, devem-se procurar as palavras-chave presentes na expressão de busca nos títulos e resumos (abstracts) dos artigos. Para artigos em Português, mas com abstracts em inglês, deve-se primeiro pesquisar no abstract, em caso de dúvida sobre a seleção do artigo, deve-se pesquisar as palavras-chave no resumo.

#### **A.4.1 Procedimentos de Seleção e Critérios**

A estratégia de busca será aplicada por um pesquisador para identificar as publicações em potencial. As publicações identificadas serão selecionadas pelos demais pesquisadores (incluindo o que fará a busca) através da verificação dos critérios de inclusão e exclusão e de qualidade estabelecidos. Os pesquisadores deverão entrar em consenso sobre a seleção das publicações cujas avaliações se mostrem conflitantes.

Em caso de impasse entre os pesquisadores, a publicação deverá ser incluída na lista de selecionadas. Para diminuir o risco que uma publicação seja excluída prematuramente em uma das etapas do estudo, sempre que existir dúvida a publicação não deverá ser excluída.

Serão aceitas publicações que descrevam pelo menos provas de conceito e/ou relatos de experiência na academia ou na indústria.

### **Procedimentos de Seleção**

A seleção dos estudos dar-se-á em 4 etapas:

- a) Seleção e catalogação preliminar dos dados coletados. A seleção preliminar das publicações será feita a partir da aplicação da expressão de busca às fontes selecionadas. Cada publicação será catalogada em um banco de dados criado especificamente para este fim e armazenada em um repositório para análise posterior;

- b) Seleção dos dados relevantes - [1º filtro]. A seleção preliminar com o uso da expressão de busca não garante que todo o material coletado seja útil no contexto da pesquisa, pois a aplicação das expressões de busca é restrita ao aspecto sintático.

Dessa forma, após a identificação das publicações através dos mecanismos de buscas, deve-se ler os resumos/abstracts e analisá-los seguindo os critérios de inclusão e exclusão identificados a seguir. Neste momento, poder-se-ia classificar as publicações apenas quanto aos critérios de exclusão, entretanto, para facilitar a análise e reduzir o número de publicações das quais possa-se ter dúvidas sobre sua aceitação, deve-se também classificá-las quanto aos critérios de inclusão.

Na impossibilidade de classificar a publicação quanto a um dos critérios abaixo, os pesquisadores deverão entrar em consenso sobre a classificação da publicação quanto aos critérios definidos ou, então, definir um novo critério de inclusão ou exclusão.

Devem ser excluídas as publicações contidas no conjunto preliminar que:

- **CE1-01** - Não serão selecionadas publicações em que as palavras chave não estão presentes na publicação e não há variações destas palavras chave (exceto plural).
- **CE1-02** - Não serão selecionadas publicações em que as palavras chave da busca não apareçam no título, resumo e/ou texto da publicação (exclui-se daí o campo 'palavras chave', as seções agradecimentos, biografia dos autores, referências bibliográficas e anexos).
- **CE1-03** - Não serão selecionadas publicações que descrevam e/ou apresentem "keynote speeches", tutoriais, cursos, workshops e similares.
- **CE1-04** - Não serão selecionadas publicações em que a sigla EVM não signifique "earned value management".
- **CE1-05** - Não serão selecionadas publicações em que a sigla CPI não signifique "cost performance index".
- **CE1-06** - Não serão selecionadas publicações em que a sigla SPI não signifique "schedule performance index".
- **CE1-07** - Não serão selecionadas publicações em que a sigla EAC não signifique "estimated at completion".
- **CE1-08** - Não serão selecionadas publicações em que a sigla TAC não signifique "time at completion".
- **CE1-09** - Não serão selecionadas publicações em que a sigla TCPI não signifique "to cost performance index".

- **CE1-10** - Não serão selecionadas publicações que apresentem ferramentas de apoio a análise de valor agregado.
- **CE1-11** - Não serão selecionadas publicações que mostrem a aderência de determinada abordagem de gerência de projetos a análise de valor agregado.
- **CE1-12** - Não serão selecionadas publicações que descrevem melhorias nas técnicas de análise de valor agregado inserindo a componente de qualidade, mas não apresentem subsídios que permitam identificar se foi aplicada ou simulada.
- **CE1-13** - Não serão selecionadas publicações que descrevem o uso de técnicas de análise de valor agregado, como forma de controle de projetos, ou sub processos de domínios específicos.
- **CE1-14** – Não serão selecionadas publicações que simplesmente citem a análise de valor agregado como uma técnica de monitoramento e controle, ou que expliquem como utilizá-la como uma técnica de monitoramento e controle.
- **CE1-15** - Não serão selecionadas publicações que EVM não tenha sido aplicado integrado com medidas de qualidade.

Podem ser incluídas apenas as publicações contidas no conjunto preliminar que:

- **CI1-01** – Podem ser selecionadas publicações que mencionam a técnica de análise de valor agregado e qualidade.
- **CI1-02** – Podem ser selecionadas publicações que descrevam novas técnicas de controle de custo e prazo utilizando ou integrando-se com medidas e indicadores de qualidade.
- **CI1-03** – Podem ser selecionadas publicações que discutam a estabilidade dos indicadores de desempenho de prazo e custo com a componente de qualidade.
- **CI1-04** – Podem ser selecionadas publicações que descrevam evoluções (extensões) da técnica de análise de valor agregado (sem mencionar melhoria da previsibilidade dos indicadores IDC e IDP) alinhadas à componente de qualidade.
- **CI1-05** – Podem ser selecionadas publicações que descrevam propostas de variação (extensões) da técnica de análise de valor agregado, visando melhorar a previsibilidade do IDC e IDP considerando a componente de qualidade.
- **CI1-06** – Podem ser selecionadas publicações que apontem os problemas mais comuns da análise de valor agregado relacionadas a qualidade.
- **CI1-07** – Podem ser selecionadas publicações que apresentem métodos estatísticos ou de controle estatístico de processos, aplicados à análise de valor agregado.

- **CI1-08** – Podem ser selecionadas publicações que comparem a análise de valor agregado tradicional com novas técnicas de controle de qualidade.
- **CI1-09** – Podem ser selecionadas publicações que adicionem novas variáveis de qualidade a análise de valor agregado, visando melhorar a previsibilidade do IDC e IDP.

4 Seleção dos dados relevantes - [2º filtro]. Apesar de limitar o universo de busca, o 1º filtro empregado não garante que todo o material coletado seja útil no contexto da pesquisa. Por isso, após a leitura dos artigos selecionados no 1º filtro, deve-se verificar que as publicações respeitem os critérios abaixo:

- **CS2 -EVM - NovTec -Uso** - Não devem ser selecionadas publicações que não utilizem a técnica de análise de valor agregado ou uma nova técnica e que não deem indícios de que foi utilizada uma nova técnica de análise de valor agregado na prática ou através de simulações.
- **CS2 -EVM -NovTec +Uso** - Não devem ser selecionadas publicações que descrevem o uso de uma técnica para controle de custo e prazo integrada a qualidade, mas não apresentem indícios que essa técnica é nova.
- **CS2 -EVM +NovTec -Uso** - Não devem ser selecionadas publicações que descrevem uma nova técnica para controle de custo e prazo considerando a componente de qualidade, mas não apresentem indícios que a nova técnica foi utilizada na prática ou através de simulações.
- **CS2 +EVM -NovTec +Uso** - Não devem ser selecionadas publicações que descrevem o uso da análise de valor agregado integrando-se com medidas e indicadores de qualidade, mas não apresentem uma nova técnica.
- **CS2 +EVM -NovTec -Uso** - Não devem ser selecionadas publicações que descrevem o uso da análise de valor agregado integrando-se com medidas e indicadores de qualidade, mas não apresentem uma nova técnica e não apresentam o seu uso prático ou através de simulações.
- **CS2 +EVM +NovTec -Uso** - Não devem ser selecionadas publicações que descrevem o uso da análise de valor agregado integrando-se com medidas e indicadores de qualidade, descrevem uma nova técnica de análise de valor agregado, mas não apresentam o seu uso prático ou através de simulações.

Dessa forma, todas as publicações devem respeitar o critério abaixo:

- **CI2 +EVM +NovTec +Uso** - Podem ser selecionadas publicações que descrevam a utilização da análise de valor agregado integrando-se com medidas e indicadores de qualidade, descrevam a utilização de novas técnicas de controle

de custos e prazos e dê indícios que as novas técnicas são reais e que foram utilizadas na prática ou através de simulações.

- **CI2 -EVM +NovTec +Uso** - Podem ser selecionadas publicações que não descrevam a utilização da análise de valor agregado, mas que descrevam a utilização de novas técnicas de controle de custos, prazos e qualidade e dê indícios que as novas técnicas são reais e que foram utilizadas na prática ou através de simulações.

### **Critérios de Inclusão**

Devem ser consideradas ainda as publicações que:

- Sejam citadas nas referências bibliográficas e forem considerados relevantes apesar de não terem sido identificados pelas palavras chave do estudo.

### **Critérios de Inclusão**

Devem ser consideradas ainda as publicações que:

- Sejam citadas nas referências bibliográficas e forem considerados relevantes apesar de não terem sido identificados pelas palavras chave do estudo.

## **A.5 Procedimentos para Extração dos Dados**

### **Na seleção e catalogação preliminar dos dados coletados**

Armazenamento das referências completas selecionadas a partir da fonte consultada no repositório de dados do estudo.

### **Na seleção dos dados relevantes**

Cada referência catalogada deve ser examinada com o objetivo de ser submetida aos critérios de seleção dos filtros identificados. Os dados que atenderem aos critérios de seleção deverão ser marcados como “verificado no [número do filtro]º filtro, passou”, do contrário, o registro deverá ser marcado como “verificado no [número do filtro]º filtro, não passou no critério [número do critério]”.

### **Extração de Dados**

Os dados extraídos das publicações selecionadas deverão ser armazenados em um banco de dados e devem conter:

- Dados da publicação:
  - Título,
  - Autor(es),

- Data de publicação,
  - Veículo de publicação,
  - Conferência ou Periódico,
  - Classificação Qualis,
  - Número de Citações do Trabalho.
- Resumo da publicação;
  - Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo do estudo:
    - **Geral** - Representa uma categoria de itens gerais sobre o artigo. O preenchimento dos itens dessa seção é obrigatório quando a publicação for considerada válida para o estudo baseado em revisão sistemática.
      - \* **Objetivo** - Descrição do objetivo do artigo. O preenchimento deste item é sempre obrigatório sempre que a publicação for válida para o estudo baseado em revisão sistemática.
      - \* **Escopo revisão da literatura** - Identificação de elementos que sejam interessantes considerar em uma revisão da literatura.
    - **Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados** – Descrição dos resultados do artigo quanto as medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e a área dos projetos.
      - \* **Conclusão** – conclusão sobre a adição de medidas de qualidade ao EVM (foi adicionado alguma medida, não foi ou se não se pode observar), forma como essas medidas foram adicionadas (caso exista).
      - \* **Justificativa**: justificativa para a conclusão encontrada.
      - \* **Contexto**: o contexto dos projetos avaliados envolve a identificação da:
        - **Área dos projetos**: Tecnologia da Informação, Aeroespacial, Aviação, Construção Civil, Petroquímica, entre outras;
        - **Nível de maturidade dos projetos**: Baixo, Médio, Alto, Não identificado.
  - Comentários adicionais do pesquisador;
  - Nota atribuída à publicação (de 01 (muito ruim) a 05 (excelente)).

### Sumarização dos resultados

Os resultados serão tabulados. Nenhuma meta-análise será realizada.

## A.6 Procedimentos para Análise

### Análise Quantitativa

A análise quantitativa dar-se-á pela extração direta dos dados a partir do banco de dados com os registros dos achados.

A análise quantitativa consiste em fornecer:

- Número de publicações selecionadas para fazer parte do estudo;
- Número de novas técnicas descritas nas publicações selecionadas para fazer parte do estudo.

### Análise Qualitativa

A análise qualitativa deverá utilizar como base, os dados quantitativos e realizar considerações com o intuito de discutir os achados com relação às questões de pesquisa declaradas.

## A.7 Planejamento e Execução

O protocolo descrito na seção anterior é a base para a execução do estudo baseado em revisão sistemática, entretanto, o seu planejamento começou antes de sua elaboração.

Para a construção do protocolo e condução do estudo foi utilizado o processo definido por Montoni (2007), que consiste das seguintes atividades: Realizar Prospecção sobre o Tema de Interesse, Definir Protocolo, Testar Protocolo e Avaliar o Protocolo; Executar a Pesquisa e Analisar Resultados da Pesquisa; Empacotar Resultados e Publicar Resultados.

## A.8 Definição do Escopo e Estudos Preliminares

A primeira etapa do planejamento foi a prospecção sobre o tema de interesse para o estudo. O objetivo definido para o estudo foi “identificar e caracterizar eventuais problemas no uso da técnica de análise de valor agregado relacionados a qualidade e as soluções indicadas para resolver os problemas.

Foram testadas opções de palavras chaves relacionadas à análise de valor agregado e qualidade “*earned value and quality*” e seus sinônimos (como, por exemplo, *earned value management and quality*, *earned value tool and quality control*, *earned value and quality control*, entre outras). As palavras chaves e sinônimos foram testadas no singular e plural.

Os resultados obtidos com as buscas preliminares, mostraram bons resultados na biblioteca da SCOPUS (<http://www.scopus.com/home.url>), para o tema em estudo, retornando 48 publicações, das quais somente 8 eram falsos positivos (publicações não relacionadas ao tema de pesquisa). Os resultados preliminares na biblioteca da Compendex (<http://www.engineeringvillage.com/>) e IEEE (<http://www.ieee.org/portal/site>), trouxeram uma lista de 20 artigos pela Compendex e 34 pela IEEE, sendo que os 13 artigos encontrados na máquina de busca da Compendex e 10 encontrados no IEEE estavam presentes também no engenho da SCOPUS e somente 2 publicações eram falsos positivos. A biblioteca da IEEE não apresentou resultados relevantes nesse momento.

Como os objetivos nesse primeiro momento eram: i) definir o escopo do tema de interesse e ii) realizar estudos preliminares sobre o assunto, essa atividade atendeu aos seus objetivos.

## A.9 Identificação de Publicações de Controle e Palavras-Chave

Após ter-se definido o tema do estudo, foi feita uma nova rodada de testes da expressão de busca. Optou-se por manter as máquinas de busca da SCOPUS (<http://www.scopus.com/home.url>), Compendex (<http://www.engineeringvillage.com/>) e IEEE (<http://www.ieee.org/portal/site>).

Para a escolha das palavras-chave, foi dado foco, num primeiro momento, às publicações de controle. Uma lista inicial destas publicações foi identificada durante os testes dos dois estudos iniciais. Outras foram sendo adicionadas durante os testes com as expressões de busca à medida que novos artigos eram retornados.

Esta lista de publicações tem de aparecer no estudo através da calibragem da expressão de busca. Se muitas publicações estiverem sendo retornadas é necessário (i) verificar se o que está sendo procurado é essencial ou se está misturando outros requisitos de pesquisa que não aqueles inerentes ao estudo de fato (por exemplo, necessidades da revisão da literatura da tese ou dissertação); (ii) verificar se não há palavras-chave demais ou desnecessárias; (iii) verificar se a máquina de busca é eficiente. Não se indica também a inclusão de muitas cláusulas restritivas (por exemplo, AND NOT (critério-qualquer)) pois podem limitar o escopo da busca desnecessariamente (a lista de publicações pode ser revista através da aplicação dos filtros presentes no protocolo).

Dessa forma, o processo para calibragem da expressão de busca envolveu:

- a) Definição da máquina de busca para testes do protocolo;
- b) Identificação de publicações que deveriam compor o grupo de controle;

- c) Identificação de expressão de busca inicial;
- d) Testes da expressão de busca;
- e) Análise dos resultados retornados pela expressão de busca;

Esse processo foi feito de forma iterativa, com os passos 2 a 5 sendo executados continuamente até que o resultado fosse considerado satisfatório.

### A.9.1 Primeira Rodada

Num primeiro momento, a base de publicações foi povoada com cerca de 55 artigos que apareceram nas buscas realizadas nos testes dos estudos preliminares (descritos na seção anterior). Pelo fato do engenho de busca da IEEE ter retornado uma extensa lista de artigos, optou-se por não utilizá-la nesse momento. Dos 55 artigos retornados 10 foram classificados como dentro do grupo de controle e são exibidos na Tabela 15.

Tabela 15 – Publicações do grupo de controle

<i>Ano</i>	<i>Título da Publicação</i>	<i>Autor</i>
2016	Controlling software cost using fuzzy Quality based EVM	Khalid, T.A., Yeoh, E.-T.
2015	Quality: The Third Element of Earned Value Management	Dodson, M., Defavari, G., De Carvalho, V.
2015	A proposal for the improvement of project's cost predictability using earned value management and historical data of cost - An empirical study	De Souza, A.D., Da Rocha, A.R.C., Dos Santos, D.C.S.
2015	A time-cost trade-off model by incorporating fuzzy earned value management: A statistical based approach	Salari, M., Bagherpour, M., Reihani, M.H.
2015	Intelligent systems in project performance measurement and evaluation	Iranmanesh, S.H., Hojati, Z.T.
2013	Is something missing from project management?	Lipke, W.
2013	A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data	de Souza, A.D., Rocha, A.R.C.
2013	Basing earned value on technical performance	Solomon, P.J.

Neste momento os testes começaram com a expressão de busca:

("Earned Value Management"AND Quality) OR ("Earned Value Management Technique"AND Quality) OR ("Earned Value Management Method"AND Quality) OR ("Earned Value Management Methodology"AND Quality) OR ("Earned Value Management"AND "Quality Control") OR ("Earned Value Management Technique"AND "Quality Control") OR ("Earned Value Management Method"AND "Quality Control") OR ("Earned Value Management Methodology"AND "Quality Control"))).

Porém essa expressão de busca não coube na busca avançada da SCOPUS e foi quebrada em duas para prosseguir com os testes, resultando na expressão de busca a seguir:

("Earned Value Management"AND Quality) OR ("Earned Value Management Technique"AND Quality) OR ("Earned Value Management Method"AND Quality) OR ("Earned Value Management Methodology"AND Quality)).

Essa string de busca mais simplificada teve bons resultados nas máquinas de busca da SCOPUS e Compendex, apresentando 48 e 20 publicações respectivamente.

Aplicando as regras para calibragem da expressão de busca iterativamente, uma forma ainda mais simplificada da string anterior foi obtida com exatamente os mesmos resultados para os engenhos da SCOPUS e Compendex. A expressão de busca resultante foi:

("Earned Value Management"AND Quality).

Uma nova expressão de busca foi testada para tentar conseguir resultados ainda melhores:

((“Earned Value Management” AND Quality) OR (“Earned Value Management” AND “Quality Control”)).

Os resultados obtidos com essa nova expressão de busca foram exatamente os mesmos vistos anteriormente, então optou-se por seguir os testes com a expressão mais simplificada:

("Earned Value Management"AND Quality).

A cada consulta foi verificado o número de publicações que faziam parte do grupo de controle.

## A.9.2 Segunda Rodada

Na segunda rodada de testes, reviu-se as publicações presentes no grupo de controle e foram adicionadas mais 2 publicações referentes as pesquisas manuais que fossem relacionadas a gerenciamento de valor agregado integrado a qualidade, conforme ilustra a tabela 2, totalizando 10 publicações no grupo de controle, de um universo de (57 publicações). Ambas as revisões sistemáticas encontradas são indexadas pela máquina de busca da IEEE.

Tabela 16 – Demais publicações do grupo de controle

<i>Ano</i>	<i>Título da Publicação</i>	<i>Autor</i>
2005	Performance-Based Earned Value	Paul J. Solomon
2006	Practical Performance-Based Earned Value	Paul J. Solomon.

### A.9.3 Definição das Máquinas de Busca

Durante os testes do protocolo e da expressão de busca, verificou-se que a base de dados da IEEE (<http://ieeexplore.ieee.org/>) não retornava resultados relevantes para o estudo em relação às máquinas de busca da Scopus (<http://www.scopus.com/>) e da Compendex (<http://www.engineeringvillage.com/>). Foi considerado que a cobertura destas duas máquinas de busca seria suficiente, pois elas indexam quase tudo o que é relevante na literatura no contexto deste estudo.

A máquina da busca da ACM não foi utilizada por não retornar registros confiáveis (com muitos falsos positivos e com comportamento diferente para buscas com uma mesma expressão de busca).

Para a busca manual, seguindo os critérios do protocolo, foram considerados as edições da conferência *NDIA Systems Engineering Conference e Systems & Software Technology Conference*, as quais deveriam ser indexadas pelo engenho de busca da Scopus e IEEE. A escolha dessa revista para revisão manual se deu em decorrência de dois artigos do grupo controle serem de edições presentes nessas revistas.

#### **Expressão de Busca na Biblioteca Digital da Scopus:**

("Earned Value Management"AND Quality).

#### **Expressão de Busca na Biblioteca Digital da Compendex:**

("Earned Value Management"AND Quality).

#### **Expressão de Busca na Biblioteca Digital da IEEE:**

("Earned Value Management"AND Quality).

#### **Instrumento para Consulta Manual:**

Para a consulta manual foram elaborados dois documentos auxiliares. O primeiro, que pode ser visto na Figura 4, é um quadro com a divisão da expressão de busca

em três partes (onde cada parte é concatenada com a seguinte através da expressão booleana AND). Após a identificação dos anais de cada publicação selecionada para o estudo, preencheu-se um formulário (cujo modelo pode ser visto na Figura 5) visando à identificação da conferência, ano, número do artigo nos anais, a língua principal do artigo, a primeira página da publicação, a presença de cada grupo de palavras-chave conforme descrito na Figura 4) e o resultado final (aceito ou não para o escopo da pesquisa). Foi decidido não anotar dados mais completos dos artigos (como nome e autores) para deixar a pesquisa mais rápida visto que, neste momento, o número do artigo na conferência e a página inicial servem como um bom identificador. Caso um grupamento de palavra-chave não pudesse ser identificado, os demais não eram procurados. Essa decisão também foi feita no intuito de agilizar o processo.

<b>Critério</b>	<b>Inglês</b>
<b>01</b>	( systematic AND review AND defect AND prediction )
<b>02</b>	bug prediction
<b>03</b>	Software fault prediction

Figura 4 – Quadro com palavras chaves

<u>Conferência</u>	<u>Ano</u>	<u># Artigo</u>	<u>Língua</u>	<u>1ª pág.</u>	<u>C1</u>	<u>C2</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>	<u>Resultado</u>

Figura 5 – Quadro para controle e Pesquisa Manual

## A.10 Considerações sobre o Resultado do Estudo

Foram avaliadas 10 publicações, que tratam de assuntos diversos, como: a estabilidade dos indicadores de desempenho de custo e prazo, propostas de melhorias na análise de valor agregado com acréscimo da nova variável de qualidade, além da comparação da análise de valor agregado com suas extensões ou evoluções.

Dessa forma, o objetivo da realização dessa revisão sistemática foi responder à questão primária:

*“De qual maneira pode-se integrar novas medidas de qualidade à técnica de GVA para melhorar o desempenho dos seus indicadores tradicionais (CPI e SPI) em projetos de software? ”.*

## A.11 Dados Coletados

A seguir, a Tabela 17 ilustra os artigos selecionados após o primeiro e segundo filtro, juntamente com quais critérios de inclusão ou exclusão que foram utilizados para a base SCOPUS.

Os artigos com a sigla N.O. indicam que, ainda que aprovados, não foram obtidos.

ID	Título da publicação	1o filtro	2o filtro
01	Teaching ISO/IEC 12207 software lifecycle processes: A serious game approach	CE1-14	-
02	The Highway Construction Cost Control Model Based on the Improved Earned Value Method Theory	CE1-13	-
03	Earned scope management: A case of study of scope performance using COSMIC (ISO 19761) with a real project	CE1-13	-
04	An overview of earned value management in airspace industry	CE1-13	-
05	Construction schedule early warning from the perspective of probability and visualization	CE1-13	-
06	Student evaluation of a virtual experience for project management learning: An empirical study for learning improvement	CE1-14	-
07	Controlling Project Schedule Progress, Using Control Charts	CE1-13	-
08	Estimating Project Performance through a System Dynamics Learning Model	CE1-14	-
09	An exact algorithm for an integrated project staffing problem with a homogeneous workforce	CE1-13	-
10	Controlling software cost using fuzzy Quality based EVM	CI1-04	-

11	Giant slayer: Will you let software be David to your goliath system?	CE1-11	-
12	An Agile approach to CMMI-DEV levels 4 and 5 in Web development projects	CE1-14	-
13	A multivariate approach for top-down project control using earned value management	CE1-02	-
14	Current status and future potential of the research on Critical Chain Project Management	CE1-14	-
15	A systematic literature review on serious games evaluation: An application to software project management	CE1-14	-
16	Tracking project progress with earned value management metrics: A real case	CE1-14	-
17	Quality: The Third Element of Earned Value Management	CI1-08	-
18	Analytical model implementing objectives in EVM for advanced project control	CE1-13	-
19	A proposal for the improvement of project's cost predictability using earned value management and historical data of cost - An empirical study	CI1-08	-
20	A time-cost trade-off model by incorporating fuzzy earned value management: A statistical based approach	CI1-08	-
21	Intelligent systems in project performance measurement and evaluation	CI1-06	-

22	Towards a serious game to teach ISO/IEC 12207 software lifecycle process: An interactive learning approach	CE1-13	-
23	Anukarna: A software engineering simulation game for teaching practical decision making in peer code review	CE1-14	-
24	The Fuzzy Project Scheduling Problem with Minimal Generalized Precedence Relations	CE1-13	-
25	Intelligent systems in project planning	CE1-13	-
26	A replicated study on correlating agile team velocity measured in function and story points	CE1-13	-
27	A Proposal for the Improvement of Project's Cost Predictability Using Earned Value Management and Quality Data - An Empirical Study	CI1-08	-
28	Project management inspired framework for action selection in wireless sensor networks	CE1-13	-
29	Earned Value Analysis for real time wireless sensor network	CE1-13	-
30	Do we need total quality management in fusion engineering? - Experience from construction of W7-X	CE1-13	-
31	Knowledge retrieval for project management	CE1-13	-
32	A visual approach to project and portfolio monitoring	CE1-13	-

---

33	SCRUMIA - An educational game for teaching SCRUM in computing courses	CE1-13	-
34	Monitoring the software development process using a short-run control chart	CE1-13	-
35	Is something missing from project management?	CI1-08	-
36	Optimizing the configuration of development teams using EVA: The case of ongoing project adjustments facing personnel restrictions	CE1-13	-
37	A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data	CI1-08	-
38	Basing earned value on technical performance	CI1-08	-

---

Tabela 17 – Publicações da base SCOPUS com critérios de Inclusão e Exclusão

A seguir, a Tabela 18 ilustra os artigos selecionados após o primeiro e segundo filtro, juntamente com quais critérios de inclusão ou exclusão que foram utilizados para a base COMPENDEX.

Os artigos com a sigla N.O. indicam que, ainda que aprovados, não foram obtidos.

13 artigos estavam presentes na máquina da SCOPUS e presentes na Tabela 17, por esse motivo não serão listados novamente.

ID	Título da publicação	1o filtro	2o filtro
01	Extensions of earned value management: Using the earned incentive metric to improve signal quality	CE1-02	-
02	Classification of articles and journals on project control and earned value management	CE1-02	-
03	The application of earned value management in small and medium-sized hydropower stations project	CE1-13	-
04	Construction and evaluation framework for a real-life project database	CE1-14	-
05	A quantitative framework for managing project value, risk, and opportunity	CE1-13	-
06	EDM: Earned Duration Management, a new approach to schedule performance management and measurement	CE1-13	-

Tabela 18 – Publicações da base COMPENDEX com critérios de Inclusão e Exclusão

A seguir, a Tabela 19 ilustra os artigos selecionados após o primeiro e segundo filtro, juntamente com quais critérios de inclusão ou exclusão que foram utilizados para a base Crosstalk e pesquisas manuais.

---

ID	Título da publicação	1o filtro	2o filtro
01	Performance-Based Earned Value	CI1-08	-
02	Practical Performance-Based Earned Value	CI1-08	-

---

Tabela 19 – Publicações da base Crosstalk e pesquisas manuais com critérios de Inclusão e Exclusão

A seguir serão apresentados os dados coletados das publicações selecionadas para o estudo baseado em revisão sistemática segundo os formulários de coleta estabelecidos.

**Artigo 01**

**ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS**

**1. Dados de identificação**

<b>REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:</b>	Controlling software cost using fuzzy Quality based EVM, Khalid, T.A., Yeoh, E.-T., Proceedings - 2015 International Conference on Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering, ICCNEEE 2015 7381377, pp. 275-280
---------------------------------------	--

**2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo**

**2.1 Geral – Resumo da publicação**

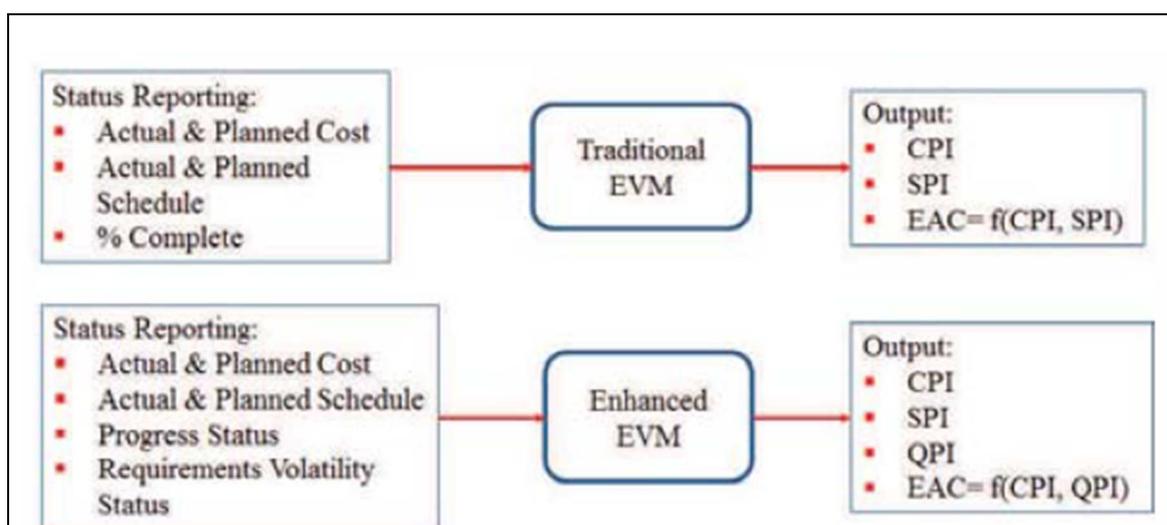
Este artigo propõe um novo modelo de EVM com qualidade baseado em lógica *fuzzy*, introduzindo a *Quality Performace Index (QPI)*, que é esperada de melhorar a acurácia do monitoramento do desempenho de custo e controle.

**2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo**

Propor um novo modelo que integre custo, prazo e qualidade para formar uma perspectiva holística dos projetos de software. Esse objetivo é atingido incorporando o indicador de qualidade em previsões de custo e introduzindo o indicador faltante i.e *quality performance index (QPI)*.

**3. Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados.**

O autor inicia a apresentação do novo modelo mostrando a diferença entre o EVM tradicional e a nova proposta:



Em seguida, as expressões que calculam os indicadores são apresentadas utilizando números fuzzy e termos linguísticos e o novo indicador de qualidade é mostrado:

$$EV = C \times BAC, \text{ onde,}$$

$BAC = \text{Budget at Complete}$

$C = \% \text{ complete}$

C é expressado por termos linguísticos e números *fuzzy* de intervalo:

Fuzzy Number (C)	Linguistic Term
[0,0, 0.1, 0.2]	Very Low
[0.1,0.2, 0.2, 0.3]	Low
[0.2,0.3, 0.4, 0.5]	Less than Half
[0.4,0.5, 0.5, 0.6]	Half
[0.5,0.6, 0.7, 0.8]	More than Half
[0.7,0.8, 0.8, 0.9]	High
[0.8,0.9, 1, 1]	Very High

Dessa forma, o EV *fuzzy* pode ser expressado:

$$\widetilde{EV}_i = \widetilde{C}_i \times BAC_i = [EV_{1i}, EV_{2i}, EV_{3i}, EV_{4i}] , \text{ onde,}$$

$\widetilde{C}_i$  = percentual completo (fuzzy) componente i.

$BAC_i$  = *Budget at complete* da componente i.

O autor também mostra os outros indicadores expressos em termos *fuzzy*:

$$\begin{aligned} \widetilde{SPI} &= \widetilde{EV} / PV \\ &= [EV_1/PV, EV_2/PV, EV_3/PV, EV_4/PV] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \widetilde{CPI} &= \widetilde{EV} / AC \\ &= [EV_1/AC, EV_2/AC, EV_3/AC, EV_4/AC] \end{aligned}$$

O novo termo *QPI* é expresso da seguinte forma:

$$EAC_i = CoD_i + CoR_i , \text{ onde,}$$

$EAC_i$  = *estimate at complete* da componente i.

$CoD_i$  = *cost of development* da componente i.

$CoR_i$  = *cost of rework* da componente i.

O autor sugere que *cost of development* é uma parte do custo total que é igual ao *QPI* e o *cost of rework* é uma parte do custo total que é igual ao nível de *rework* (R):

$$CoD_i = QPI_i \times EAC_i \text{ and } CoR_i = R_i \times EAC_i ,$$

Portanto,

$$EAC_i = QPI_i \times EAC_i + R_i \times EAC_i$$

Dividindo a equação por  $EAC_i$ , temos:

$$QPI_i = 1 - R_i$$

Ou seja, a medida que o desempenho de qualidade se aproxima de 100%, o *rework* (retrabalho) se aproxima de zero.

O QPI médio geral para o projeto pode ser expresso por:

$$QPI = \frac{\sum_{i=1}^N (1 - R_i) \times EAC_i}{\sum_{i=1}^N EAC_i}, \text{ onde,}$$

$R_i$  = % de retrabalho (*rework*).

$EAC_i$  = *expected cost at complete* na componente  $i$ .

$N$  = número total de componentes.

O valor de  $R$  é fuzzy e é dependente da qualidade das entregas após o teste. Caso as entregas sejam completamente rejeitadas  $R$  se aproximará de 1, caso contrário se aproximará de 0. Caso as entregas sejam parcialmente aceitar:  $1 > R > 0$ .

A tabela fuzzy que representa  $R$  é dada da seguinte forma:

Fuzzy Number (R)	Linguistic Term
[0,0, 0.05, 0.10]	Very Low
[0.05,0.10, 0.15, 0.20]	Low
[0.15,0.20, 0.25, 0.30]	Average
[0.25,0.30, 0.35, 0.40]	High
[0.35,0.40, 1, 1]	Very High

e então R fuzzy é representado como:

$$\tilde{R}_i = [R_{1i}, R_{2i}, R_{3i}, R_{4i}]$$

Dessa forma, QPI fuzzy pode ser representado como:

$$\begin{aligned} \widetilde{QPI}_i &= (1 - \tilde{R}_i) \\ &= [QPI_{1i}, QPI_{2i}, QPI_{3i}, QPI_{4i}] \text{ , onde,} \end{aligned}$$

$$\tilde{R}_i = \% \text{ rework da componente } i \text{ (fuzzy).}$$

Foram feitos testes do novo modelo proposto utilizando projetos simulados. Os resultados obtidos foram muito bons, porém seria interessante testar com projetos reais.

### 3.1 Conclusão

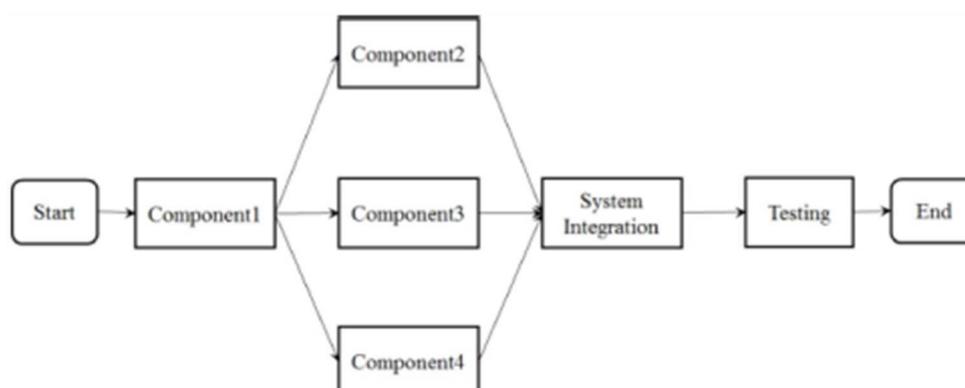
O EVM tradicional tem uma variação de 6.1% do custo inicial. Após a execução do retrabalho essa variação sobe para assustadores 27.7% do custo real no término do projeto. O novo modelo apresentado nesta publicação apresenta uma variação mais realista de 7.9% do custo real incluindo o retrabalho. Apesar dos resultados teriam sido ótimos, ainda é preciso realizar estudos em projetos reais.

### 3.2 Justificativa

A medida adicionada é efetiva e fácil de entender.

### 3.3 Contexto

Trata-se de um projeto simulado com algumas componentes que precisam ser desenvolvidas.



### 4. Referências Relevantes

Q. W. Fleming and J. M. Koppelman, "*Earned value project management: a powerful tool for software projects*" *Crosstalk: The Journal of Defense Software Engineering*, pp. 19-23, July 1988

P. Solomon, "*Performance based earned value*". *Crosstalk: The Journal of Defense Software Engineering*, 18, pp. 22-26, 2005.

### 5. Comentários adicionais do pesquisador.

A técnica pode ser facilmente integrada ao GVA e se mostrou efetiva no exemplo apresentado. É necessário realizar mais experimentos em projetos reais para comprovar sua eficácia.

### 6. Relevância do Artigo

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>X</b>
----------	----------	----------	----------	----------

**Muito Ruim**

**Excelente**

### Artigo 02

### ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

#### 1. Dados de identificação

<b>REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:</b>	Quality: The Third Element of Earned Value Management, Dodson, M., Defavari, G., De Carvalho, V., Procedia Computer Science 64, pp. 932-939 - October, 2015.
---	--

## **2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo**

### **2.1 Geral – Resumo da publicação**

Este artigo contribui para estudos que buscam adicionar a componente de qualidade à técnica de GVA, propondo uma metodologia para calcular *Quality Earned Value (QEV)*. Algumas fórmulas são apresentadas para estimar *Quality Variance (QV)*, *Quality Index Number (QIN)* e *Quality Performance Index (QPI)* que são adicionadas à técnica de GVA convencional com intuito de melhorar seu desempenho.

### **2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo**

O objetivo principal do artigo é medir, por meio do indicador de qualidade *Quality Earned Value (QEV)*, a capacidade que um projeto de colheita de soja tem para entregar os requisitos de qualidade definidos por um cliente, ao longo de sua execução. A eficiência do projeto em entregar a qualidade exigida é baseada no tempo e custo gastos.

## **3. Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados.**

O autor integra ao EVM as seguintes medidas de qualidade:

Name	Description	Formula
Quality Requirements (QR)	It is the quality requirements for a given task. The unit may vary according to the QR	
Quality Performance Index (QPI)	Indicates how efficient the project is conducted to meet the task's QR. It is used when a task has one quality requirement or as part of the Quality Index Number (QIN) when a task has more than one QR	QPI = 1 (when the quality requirements are met) QPI = 0 (when the quality requirements are NOT met)
Quality Index Number (QIN)	The ratio between the Sum of Quality Performance Index (QPI) for a given task, divided by the sum of the number of Quality Requirements (NQR) for a given task. It is used when a task has more than one quality requirement	$QIN = \frac{\sum QPI}{\sum NQR}$ $1 \text{ QR} = 1NQR$
Quality Earned Value (QEV)	The earned value of the work that met QR of the performed work. It is estimated by multiplying the QPI (or QIN) by the Actual Costs (AC) expressed in monetary units.	QEV = QPI * AC (one QR per task) QEV = QIN * AC (More than one QR per task)
Quality Variance (QV)	Indicates the cumulative quality efficiency of the project	QV = QEV - AC

Tabela 1 – Indicadores *Quality Earned Value*.

Essas medidas foram usadas para melhorar o desempenho da técnica de GVA em projetos agrícolas.

Um plano de gerenciamento de qualidade foi elaborado seguindo as recomendações do PMBOK *Guide 4th*, para a atividade 1.2.1 descrita na tabela a baixo:

1.2.1	Harvester machine	Pre-harvest grain losses + Pos-harvest grain losses: 1.5 sc/ha Worked hours: 7 hours per day Grain moisture: 14 % Impurities: 3%
-------	-------------------	---

Para facilitar a interpretação dos dados dá técnica de GVA e QEV, a tabela a seguir foi disponibilizada:

Performance Measures	Schedule			Performance Measures
	SV > 0 & SPI > 1.0	SV = 0 & SPI = 1.0	SV < 0 & SPI < 1.0	
CV > 0 & CPI > 1.0	Under specification Ahead of Schedule Under Budget	Under specification On Schedule Under Budget	Under specification Behind Schedule Under Budget	QV = 0 & QPI = 1.0
CV > 0 & CPI > 1.0	Out of Specification Ahead of Schedule Under Budget	Out of Specification On Schedule Under Budget	Out of Specification Behind Schedule Under Budget	QV > 0 & QPI = 0
CV = 0 & CPI = 1.0	Under specification Ahead of Schedule On Budget	Under specification On Schedule On Budget	Under specification Behind Schedule On Budget	QV = 0 & QPI = 1.0
CV = 0 & CPI = 1.0	Out of Specification Ahead of Schedule On Budget	Out of Specification On Schedule On Budget	Out of Specification Behind Schedule On Budget	QV > 0 & QPI = 0

Quality

Podemos relacionar os dados obtidos e classificar em qual estado o projeto se encontra.

Ao longo do projeto vários problemas aconteceram com a plantação de soja como chuvas, atrasos de maquinário e fretes para locais mais longes do que o esperado. Isso fez com que o projeto apresentasse atraso e um custo superiores ao estimado, além de não conseguir entregar a qualidade exigida a tempo. Tendo esses dados em mãos, os valores calculados para os indicadores de qualidade foram:

Em um dia qualquer ao decorrer do projeto:

$$QV \text{ (Quality Variance)} = R\$817.22$$

$$QIN \text{ (Quality Index Number)} = 0.5 \text{ (somente 50\% do trabalho feito atingiu o QR (Quality Requirements))}$$

Em outras palavras, foram gastos R\$817.22 a mais do que o esperado.

Para o último dia do projeto os dados coletados foram:

$$QIN = 0.67$$

$$AC = R\$10,470.60$$

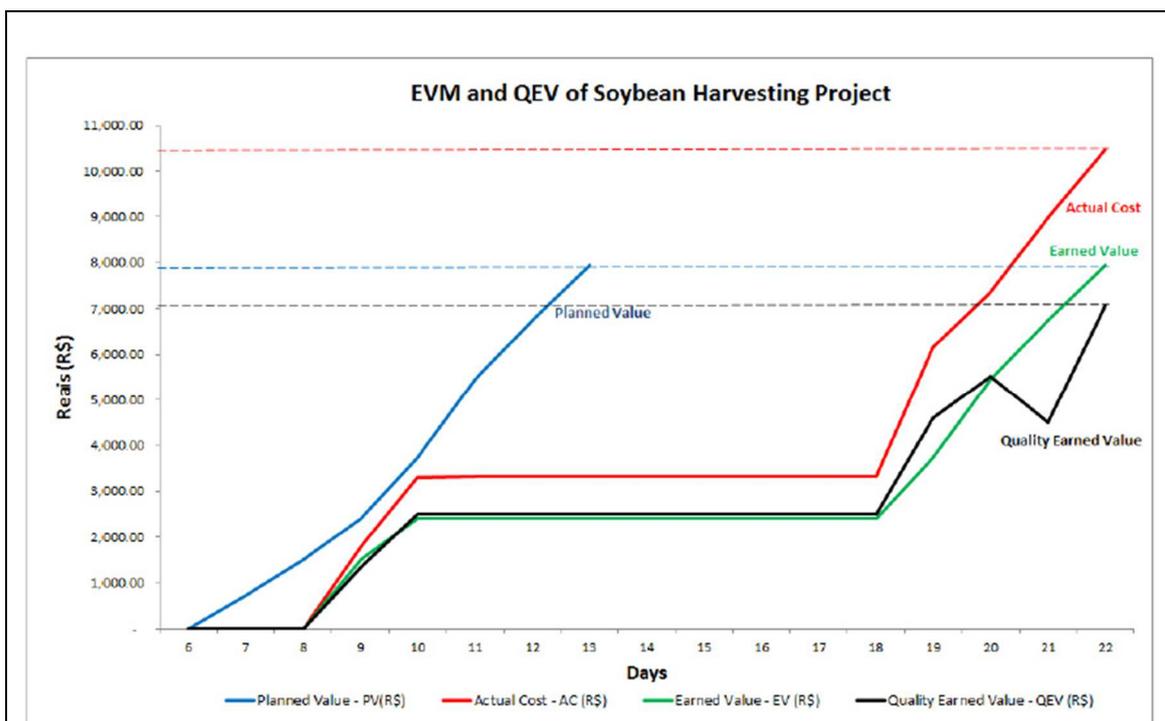
$$QEV = R\$7,074.12$$

A variação entre AV e QEV significa que R\$3,396.47 gastos estão fora do padrão de qualidade exigido.

A tabela de *Quality Earned Value* para o projeto é:

Day	Impurities		Moisture		Worked hours		Grain loss		Index Number		Quality Earned Value					
	%	QR	QPI	%	QR	QPI	Hours	QR	QPI	Bags/ha	QR	QPI	Sum (QPI)	QIN	AC (R\$)	QEV (R\$)
9	2.54		1.00	14.00	1.00	6.50		1.00	1.94	0.00		3.00	0.75	1.803.11	1,352.33	(45)
10	2.52		1.00	14.00	1.00	7.00		1.00	2.77	0.00		3.00	0.75	1,496.78	1,122.59	(37)
19	2.25	3.00	1.00	14.00	1.00	6.80	7.00	1.00	2.27	1.50	0.00	3.00	0.75	2,846.39	2,134.80	(71)
20	3.00		1.00	14.00	1.00	6.50		1.00	3.55	0.00		3.00	0.75	1,209.01	906.76	(30)
21	2.06		1.00	18.00	0.00	7.00		1.00	2.28	0.00		2.00	0.50	1,634.45	817.22	(81)
22	1.04		1.00	14.00	1.00	6.00		0.00	2.70	0.00		2.00	0.50	1,480.85	740.42	(74)
													0.67	10,470.60	7,074.12	(3,396.47)

A curva S do projeto também é apresentada:



### 3.1 Conclusão

O autor integra à técnica de GVA os indicadores de qualidade apresentados na tabela 1. Os dados calculados para esses indicadores se mostraram eficientes e condizentes com a realidade que o projeto enfrentou.

### 3.2 Justificativa

A medida adicionada é efetiva e fácil de entender.

### 3.3 Contexto

Trata-se de um projeto real da área agrícola. Todos os dados foram retirados de medidas reais feitas em campo.

## 4. Referências Relevantes

Solomon, P. (2002, 10). "Using CMMI to Improve Earned Value Management". Retrieved from Carnegie Mellon University: [http://resources.sei.cmu.edu/asset\\_files/TechnicalNote/2002\\_004\\_001\\_13976.pdf](http://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalNote/2002_004_001_13976.pdf)

Solomon, P. (2011, June). "Path to Earned Value Management Acquisition Reform". Retrieved from: <http://www.dau.mil/pubscats/ATL%20Docs/May-June11/Solomon.pdf>

Yerabolu, R. (2010). "Quality, Risk Management, and Integration Management Disciplines into Earned Value Management (EVM) for Deriving Performance Based Earned Value (PBEV)". Retrieved from Project Management Institute: [http://www.pmi.org/Knowledge-Center/Knowledge-Shelf/~media/Members/Knowledge%20Shelf/Yerabolu2\\_2010.ashx](http://www.pmi.org/Knowledge-Center/Knowledge-Shelf/~media/Members/Knowledge%20Shelf/Yerabolu2_2010.ashx)

### 5. Comentários adicionais do pesquisador.

A técnica pode ser facilmente integrada ao GVA e se mostrou efetiva no exemplo apresentado. É necessário realizar mais experimentos em projetos reais para comprovar sua eficácia, principalmente em projetos relacionados a computação.

### 6. Relevância do Artigo

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>X</b>
<b>Muito Ruim</b>				<b>Excelente</b>

### Artigo 03

#### ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

#### 1. Dados de identificação

<b>REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:</b>	<i>A proposal for the improvement of project's cost predictability using earned value management and historical data of cost - An empirical study, De Souza, A.D., Da Rocha, A.R.C., Dos Santos, D.C.S., International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering 25(1), pp. 27-50 - 2015.</i>
---------------------------------------	---

#### 2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo

##### 2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo descreve os motivos que levam as falhas no uso da técnica de análise de valor agregado. Apesar de ser um artigo interessante, dentro do contexto deste estudo é um falso positivo, pois não mostra nenhuma proposta de melhoria utilizando indicadores de qualidade, ou nenhum problema da técnica em si, tendo em vista que as causas apontadas pelo autor, para que a técnica não funcione são: empresas despreparadas para utilizar a técnica e que apresentam os seguintes problemas: i) falta de um documento de requisitos, ii) documento de requisitos incompleto, iii) falta de documento de requisitos, iv) wbs incompleta ou não validada pelo cliente, v) planejamento não integrado, vi) falhas nas estimativas de custo e prazo, vii) falta de uma metodologia de monitoramento e controle eficiente, viii) mecanismos ineficientes de coleta de informações.

## 2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Mostrar os principais problemas das empresas que tentam utilizar a técnica de análise de valor agregado.

## 3. Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados

Não há.

## 4. Referências Relevantes

Christensen, Dr. David S. “Using Performance Indices to Evaluate the Estimate at Completion,” *The Journal of Cost Analysis, Society of Cost Estimating and Analysis*, (Spring 1994).

Lukas, Joseph A. *Is Your Schedule Correct? Common Scheduling Mistakes and How to Avoid Them*, *PMI Global Congress North America Transactions*, October, 2007.

## 5. Comentários adicionais do pesquisador.

## 6. Relevância do Artigo

1	2	X	4	5
---	---	---	---	---

Pouco Relevante

Excelente

**Artigo 04**

**ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS**

**1. Dados de identificação**

<b>REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:</b>	<i>A time-cost trade-off model by incorporating fuzzy earned value management: A statistical based approach, Salari, M., Bagherpour, M., Reihani, M.H., Journal of Intelligent and Fuzzy Systems 28(4), pp. 1909-1919, 2015.</i>
---	--

**2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo**

**2.1 Geral – Resumo da publicação**

O artigo descreve os problemas envolvendo *Time-cost trade-off (TCT)* e seu objetivo é prolongar os problemas apresentados pelo TCT para conseguir prover uma maneira mais organizada de planejamento e replanejamento de projetos. Apesar de ser um artigo interessante, dentro do contexto deste estudo é um falso positivo, pois não mostra nenhuma proposta de melhoria utilizando indicadores de qualidade, ou nenhum problema da técnica em si, somente utiliza a técnica de GVA para monitorar o desempenho de custo e prazo do seu projeto de estudo.

**2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo**

Apresentar os principais problemas envolvendo *Time-cost trade-off (TCT)* e aprimorar a forma de planejamento e replanejamento de projetos.

**3. Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados:**

Não há.

**4. Referências Relevantes**

Não há.

**5. Comentários adicionais do pesquisador.**

## 6. Relevância do Artigo

<b>X</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
----------	----------	----------	----------	----------

**Pouco Relevante**

**Excelente**

### Artigo 05

#### ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

#### 1. Dados de identificação

<b>REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:</b>	<i>Intelligent systems in project performance measurement and evaluation, Iranmanesh, S.H., Hojati, Z.T., Intelligent Systems Reference Library 87, pp. 581-619, 2015..</i>
---	---

#### 2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo

##### 2.1 Geral – Resumo da publicação

A publicação apresenta uma maneira de simular projetos baseando-se em sua complexidade e especificações, além do ambiente no qual ele é executado. Também são comparados os efeitos em projetos simulados com diferentes tipos de entradas. Apesar de ser um artigo interessante, dentro do contexto deste estudo é um falso positivo, pois não mostra nenhuma proposta de melhoria utilizando indicadores de qualidade, ou nenhum problema da técnica em si, somente utiliza a técnica de GVA para monitorar o desempenho de custo e prazo do seu projeto de estudo.

##### 2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Apresentar uma forma para o gerente de projetos verificar os efeitos, simular e acompanhar a execução de um projeto.

#### 3. Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados:

Não há.

#### 4. Referências Relevantes

Não há.

#### 5. Comentários adicionais do pesquisador.

#### 6. Relevância do Artigo

<b>X</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
----------	----------	----------	----------	----------

**Pouco Relevante**

**Excelente**

### Artigo 06

#### ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

#### 1. Dados de identificação

<b>REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:</b>	<i>Is something missing from project management?, Lipke, W., CrossTalk 26(4), pp. 16-20 - July/August 2013.</i>
---------------------------------------	---

#### 2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo

##### 2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo examina e propõe a aplicação do gerenciamento de valor agregado e suas extensões como um caminho a seguir. O autor define o uso de indicadores relacionados a qualidade como sendo de profunda importância para a técnica de GVA.

##### 2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Propor melhorias constantes nas técnicas de gerenciamento de projetos, inclusive a GVA, com foco grande em qualidade.

#### 3. Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados:

Apesar da publicação apresentar bons argumentos sobre indicadores relacionados a qualidade, nenhuma medida de qualidade é integrada ao EVM. Acredito que essa publicação seja relevante pelas reflexões presentes de que a qualidade é uma componente importante do gerenciamento de projetos, mas não é devidamente integrada ao EVM.

#### 4. Referências Relevantes

Não há.

#### 5. Comentários adicionais do pesquisador.

#### 6. Relevância do Artigo

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>X</b>	<b>5</b>
----------	----------	----------	----------	----------

**Pouco Relevante**

**Excelente**

### Artigo 07

#### ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

#### 1. Dados de identificação

<b>REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:</b>	<i>A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data, de Souza, A.D., Rocha, A.R.C., Communications in Computer and Information Science 364 CCIS, pp. 190-201 - 2013.</i>
---	--

#### 2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo

##### 2.1 Geral – Resumo da publicação

A publicação propõe uma extensão da técnica de GVA integrando o histórico do desempenho de qualidade como meio de aprimorar a previsibilidade de custo. A proposta é avaliada e comparada com a técnica de GVA tradicional por meio de diferentes testes de hipóteses, utilizando dados de projetos simulados.

##### 2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Aprimorar a técnica de GVA tradicional adicionando a componente de qualidade por meio de uma avaliação do histórico do desempenho de qualidade e testes em projetos simulados.

### **3. Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados:**

O autor mostra que para fazer previsões futuras do desempenho de um projeto, é necessário utilizar informações relacionadas a qualidade. Todos os custos relacionados ao gerenciamento de atividades de qualidade de um projeto, são chamados de *Quality costs* ou custos de qualidade, e se referem ao custo total de todos os esforços relacionados a qualidade durante o ciclo de vida do produto. O autor mostra que de acordo com Putman *Quality Costs* são geralmente divididos em duas categorias:

*Compliance Cost*: Custos alocados ao longo do projeto em atividades para prevenir falhas, como: i) treinamento, ii) documentação de processo, iii) testes e iv) inspeções.

*Noncompliance Cost*: Custos alocados ao longo e depois da execução do projeto atribuídos a falha: i) perda de confiança, ii) garantia do produto e iii) perda de mercado.

Em seguida o autor propõe uma extensão da técnica de GVA baseada em duas métricas básicas, que são usadas para gerar outras métricas e indicadores de desempenho:

*TENC* - Total expected noncompliance

*TENC(h)* - effort to fix the noncompliance (n.c)

*TENC(\$)* - cost to fix the noncompliance

*SIZE* - size of the project

*INCH* - n.c rate that indicates the number of expected n.c

*AEE* - average estimated effort to fix n.c

$$TENC = size * INCH$$

$$INCH = \text{sum}(\text{total } n.c \text{ of projects}) / \text{sum}(\text{size of total projects})$$

$$TENC(h) = TENC * AEE$$

$$AEE = \text{sum}(\text{effort to fix } n.c \text{ of all projects}) / \text{sum}(\text{number of } n.c \text{ of all projects})$$

$$TENC(\$) = TENC(h) * \$ \text{ man hours cost}$$

$$INC = \text{sum of all } n.c$$

*QPI* é um indicador que mostra a eficiência da qualidade de um processo.

$$\text{Quality Performance Index (QPI)} = ENC(d) / INC(d)$$

*ENC(d)*: total *n.c* expected for a given date. At the end of the project execution  
 $ENC(d) = TENC$ .

*INC(d)*: total *n.c* identified for a given date.

Valores abaixo de 1 para o indicador significa que estão sendo encontradas um número maior de *n.c* do que o esperado. Valores acima de 1 significa que estão sendo encontrados um número menor de *n.c* do que o esperado.

Ao longo da execução de um projeto, o gerente de projetos pode desenvolver uma nova previsão para *n.c estimate to complete (NCEC)*, que pode ser diferente de *TENC* baseado em desempenho de qualidade. Essa nova medida só deve ser feita se o *QPI* permanecer intacto, i.e., caso o *TENC* não seja mais confiável.

$$NCEC = TENC / QPI$$

A técnica proposta sugere que *NC Estimate to Complete (NCEC)* deve ser usada para obter o *n.c variations (NCV)* no *TENC*. Essa é a medida responsável por informar o quão diferente a qualidade está do esperado:

$$NCV = TENC - NCEC$$

Essa medida deve ser calculada e integrada ao EAC da técnica de GVA tradicional:

$$EAC_{qual} = (BAC/CPI_{acum}) + ECX(\$)$$

*Extra Cost Estimate to Complete (ECX(\$))*: variação do custo de *n.c.*, correspondente ao custo (positivo ou negativo).

$$ECX(\$) = TENC(\$) - NCEC(\$)$$

### 3.1 Conclusão

A publicação apresenta uma proposta de extensão da técnica de GVA que adiciona a componente da qualidade por meio de várias equações novas que levam em consideração o histórico de desempenho de qualidade em projetos. Vários testes foram conduzidos para avaliar a técnica proposta e os resultados obtidos foram satisfatórios, mostrando que a nova técnica possui mais precisão e acurácia do que a técnica de GVA tradicional no início, meio e fim da execução de um projeto.

### 3.2 Justificativa

Os testes feitos com a técnica proposta mostraram resultados melhores do que a técnica de GVA tradicional.

### 3.3 Contexto

Foram utilizados projetos simulados para validar a extensão da técnica proposta.

## 4. Referências Relevantes

Souza, A.D., Rocha, A.R.C.: “*A proposal for the improvement of the technique of Earned Value Management utilizing the history of performance data*”. In: Proceedings of the Twenty-Fourth International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering - SEKE, pp. 753–759 (2012a)

Lipke, W.: “*Independent Estimates at Completion – Another Method*”. Cross Talk The Journal of Defense Software Engineering 17(10), 32 (2004)

Putnam, L.H.: “*Five Core Metrics: The Intelligence Behind Successful Software Management*”. Dorset House (2003).

### 5. Comentários adicionais do pesquisador.

Esta publicação esta bem completa e apresenta um avanço significativo no tema de interesse principal desse estudo.

### 6. Relevância do Artigo

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>X</b>
----------	----------	----------	----------	----------

**Pouco Relevante**

**Excelente**

## Artigo 08

### ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

#### 1. Dados de identificação

<b>REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:</b>	<i>Performance-Based Earned Value, Solomon, P.J., Northrop Grumman Integrated Systems - August 2005.</i>
---------------------------------------	--

#### 2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo

##### 2.1 Geral – Resumo da publicação

*Performance-Based Earned Value* é uma melhoria do sistema de *Earned Value Management*. *PBEV* é baseado em padrões e modelos para *Systems Engineering, Software Engineering* e gerencia de projetos, por esse motivo consegue superar os problemas

apresentados no sistema EVM tradicional relacionados a desempenho técnico e qualidade.

A diferença principal do *PBEV* é o foco nos requisitos do cliente.

## 2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

O principal objetivo da publicação é apresentar princípios e orientações para processos economicamente viáveis que especificam as medidas mais efetivas para: i) custo, ii) cronograma e iii) qualidade.

## 3. Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados:

A publicação em questão apresenta uma série de guias e regras para utilizar o *Performance-Based Earned Value (PBEV)* para aprimorar o sistema EVM convencional. Segundo o autor, a técnica de GVA tradicional só poderá ser confiável quando os seguintes requisitos forem satisfeitos:

- i) Medidas reais da qualidade do produto;
- ii) Medidas corretas de base para performance técnica estabelecidas;
- iii) Progresso avaliado objetivamente.

Para tanto, os princípios do *PBEV* necessários (e diferentes dos apresentados no sistema EVM) são:

- i) Escopo do produto e qualidade: Integrar escopo do produto e requisitos de qualidade à base de métricas de desempenho.
- ii) Requisitos de qualidade do produto: Especificar o desempenho para satisfazer os requisitos de qualidade do produto.
- iii) Integração de análise de risco: Integrar análise de risco à técnica de GVA.
- iv) Adaptar *PBEV*: Adaptar a aplicação do *PBEV* de acordo com o risco.

O autor examina os itens i e ii com maiores detalhes, de forma a enfatizar que a existência de medidas relacionadas a qualidade no sistema *PBEV* é de extrema importância.

- i) Escopo do produto e qualidade:

Este princípio tem seu foco principal na satisfação do cliente, baseando-se na entrega de um produto que atinge os requisitos de qualidade e está dentro das estimativas de custo e prazo.

ii) Requisitos de qualidade do produto:

No contexto do *PBEV*, o escopo do produto é definido e delimitado em termos de requisitos de qualidade. Os requisitos de qualidade são características mandatórias para satisfazer um cliente. Os requisitos de qualidade de um produto são os requisitos que formam a base de como um produto deve ser construído, juntamente com custo e prazo. Vemos aqui a importância da qualidade de um produto.

### **3.1 Conclusão**

*PBEV* melhora a técnica tradicional de EVM com as melhores práticas de *Systems Engineering*, *Software Engineering* e gerenciamento de projeto. Os princípios e guias apresentados por esta publicação possibilitam a integração de custo, prazo e performance técnica.

Para satisfazer a característica principal do *PBEV* – foco nos requisitos do cliente – medidas de qualidade do produto foram incorporadas ao plano de projeto.

### **3.2 Justificativa**

A publicação apresenta guias e boas práticas para aprimorar a técnica de GVA tradicional, melhorando o desempenho dos projetos e garantido a qualidade e satisfação dos clientes.

### **3.3 Contexto**

Não há menção do contexto dos projetos, acredito que os princípios apresentados podem ser aplicados em qualquer situação.

#### 4. Referências Relevantes

American National Standards Institute. “*Earned Value Management Systems.*” (ANSI)/EIA-748-A-1998. Apr. 1998. Reaffirmed 28 Aug. 2002.

Solomon, Paul J. “*Integrating Systems Engineering With Earned Value Management.*” Defense AT&L May/June 2004:42 <[www.dau.mil/pubs/dam/05\\_06\\_2004/sol-mj04.pdf](http://www.dau.mil/pubs/dam/05_06_2004/sol-mj04.pdf)>.

Solomon, Paul J. “*Practical Software Measurement, Performance-Based Earned Value.*” CrossTalk Sept. 2001:26 <[www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/2001/09/solomon.html](http://www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/2001/09/solomon.html)>.

Solomon, Paul J. “*Using CMMI to Improve Earned Value Management.*” CMU/SEI-2002-TN-016. Pittsburgh,PA: Software Engineering Institute, Oct. 2002. <[www.sei.cmu.edu/pub/documents/02.reports/pdf/02tn016.pdf](http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/02.reports/pdf/02tn016.pdf)>.

#### 5. Comentários adicionais do pesquisador.

Uma publicação de extrema importância para entender os conceitos principais da integração da componente de qualidade à técnica de EVM, objetivo principais desta revisão sistemática.

#### 6. Relevância do Artigo

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>X</b>
<b>Pouco Relevante</b>			<b>Excelente</b>	

**Artigo 09**

**ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS**

**1. Dados de identificação**

<b>REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:</b>	<i>Practical Performance-Based Earned Value, Solomon, P.J., Systems &amp; Software Technology Conference. - May 2006.</i>
---------------------------------------	---

**2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo**

**2.1 Geral – Resumo da publicação**

Idêntico ao artigo 08. Com adição de 4 exemplos práticos.

- i) Example 1: EV Based on Completing Drawings and Meeting Requirements
- ii) Example 2: EV When TPM Is At a Higher WBS Level
- iii) Example 3: Progress of Requirements Traceability and Verification
- iv) Example 4: Exit Criteria

**2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo**

Idêntico ao artigo 08.

**3. Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados:**

Idêntico ao artigo 08. Com adição da tabela para referência dos princípios do *PBEV*.

Referenced Performance-Based Earned Value Guidelines	
1.1	Establish product requirements and allocate these to product components.
1.2	Maintain bidirectional traceability of product and product component requirements among the project plans, work packages, planning packages, and work products.
2.2	Specify work products and performance-based measures of progress for meeting product requirements as base measurements of earned value. Examples are: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Results of trade-off analysis.</li> <li>• Allocated requirements developed, implemented into design, or tested successfully.</li> <li>• Achieving planned technical performance measures.</li> <li>• Meeting entry and success criteria for technical reviews.</li> <li>• Other quality objectives achieved.</li> </ul>
2.4	Identify event-based, success criteria for technical reviews that include development maturity to date and the product's ability to meet product requirements.
2.5	Establish time-phased, planned values for measures of progress towards meeting product requirements, dates or frequency for checking progress, and dates when full conformance will be met.
2.6	Allocate budget in discrete work packages to measures of progress towards meeting product requirements.
2.7	Compare the amount of planned budget and the amount of budget earned for achieving progress towards meeting product requirements.

*Tabela 1 – Referência para Guia Performanc-Based Earned Value.*

### **3.1 Conclusão**

Idêntico ao artigo 08.

### **3.2 Justificativa**

Idêntico ao artigo 08.

### **3.3 Contexto**

São apresentados 2 casos de uso para exemplificar as guias e boas práticas apresentadas pelo *PBEV*.

## **4. Referências Relevantes**

American National Standards Institute. “*Earned Value Management Systems.*” (ANSI)/EIA-748-A-1998. Apr. 1998. Reaffirmed 28 Aug. 2002.

Solomon, Paul J. “*Integrating Systems Engineering With Earned Value Management.*” Defense AT&L May/June 2004:42 <[www.dau.mil/pubs/dam/05\\_06\\_2004/sol-mj04.pdf](http://www.dau.mil/pubs/dam/05_06_2004/sol-mj04.pdf)>.

Solomon, Paul J. “*Practical Software Measurement, Performance-Based Earned Value.*” CrossTalk Sept. 2001:26 <[www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/2001/09/solomon.html](http://www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/2001/09/solomon.html)>.

Solomon, Paul J. “*Using CMMI to Improve Earned Value Management.*” CMU/SEI-2002-TN-016. Pittsburgh,PA: Software Engineering Institute, Oct. 2002. <[www.sei.cmu.edu/pub/documents/02.reports/pdf/02tn016.pdf](http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/02.reports/pdf/02tn016.pdf)>.

### 5. Comentários adicionais do pesquisador.

Uma publicação de extrema importância para entender os conceitos principais da integração da componente de qualidade à técnica de EVM, objetivo principais desta revisão sistemática.

### 6. Relevância do Artigo

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>X</b>
<b>Pouco Relevante</b>			<b>Excelente</b>	

**Artigo 10**

**ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS**

**1. Dados de identificação**

<b>REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:</b>	<i>Basing earned value on technical performance, Solomon, P.J., CrossTalk 26(1), pp. 25-28 - January/February 2013.</i>
---	---

**2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo**

**2.1 Geral – Resumo da publicação**

Idêntico ao artigo 08/09 com adição de linguagem contratual e técnicas para monitoramento de projetos. O tópico abordado por essa atualização do *PBEV*, apesar de ser interessante, dentro do contexto deste estudo é um falso positivo, pois não mostra nenhuma proposta de melhoria utilizando indicadores de qualidade, apenar o que já foi apresentado nos artigos 08/09.

**2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo**

Idêntico ao artigo 08/09.

**3. Medidas de qualidade integradas ao EVM, forma como foram integradas e resultados obtidos em projetos reais ou simulados:**

Idêntico ao artigo 08/09.

**4. Referências Relevantes**

American National Standards Institute. “*Earned Value Management Systems.*” (ANSI)/EIA-748-A-1998. Apr. 1998. Reaffirmed 28 Aug. 2002.

Solomon, Paul J. “*Integrating Systems Engineering With Earned Value Management.*” Defense AT&L May/June 2004:42 <[www.dau.mil/pubs/dam/05\\_06\\_2004/sol-mj04.pdf](http://www.dau.mil/pubs/dam/05_06_2004/sol-mj04.pdf)>.

Solomon, Paul J. “*Practical Software Measurement, Performance-Based Earned Value.*” CrossTalk Sept. 2001:26 <[www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/2001/09/solomon.html](http://www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/2001/09/solomon.html)>.

Solomon, Paul J. “*Using CMMI to Improve Earned Value Management.*” CMU/SEI-2002-TN-016. Pittsburgh,PA: Software Engineering Institute, Oct. 2002. <[www.sei.cmu.edu/pub/documents/02.reports/pdf/02tn016.pdf](http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/02.reports/pdf/02tn016.pdf)>.

### 5. Comentários adicionais do pesquisador.

Uma publicação de extrema importância para entender os conceitos principais da integração da componente de qualidade à técnica de EVM, objetivo principais desta revisão sistemática.

### 6. Relevância do Artigo

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>X</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Pouco Relevante</b>			<b>Excelente</b>	

# APÊNDICE B – QUESTÕES OBJETIVAS PARA ANÁLISE DA NORMA ISO/IEC 25010 E CONTRIBUIÇÕES

Este capítulo mostra as questões objetivas utilizadas para determinar a Qualidade Real Alcançada (QRA) de atividades de um projeto, dentro das fases do ciclo de vida, analisando as subcaracterísticas presente na norma ISO/IEC 25010:2011 e nas contribuições feitas por (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010).

Para que as Atividades sejam adequadamente analisadas, questionamentos relacionados as subcaracterísticas de interesse precisam ser adequadamente respondidos, tendo como objetivo principal verificar se uma determinada subcaracterística foi atendida e determinar a Qualidade Real Alcançada (QRA) de Atividades de um projeto , como explicado no Capítulo 3 desta dissertação.

A norma ISO/IEC 25010:2011 apresenta oito características (Funcionalidade, Desempenho, Compatibilidade, Usabilidade, Confiabilidade, Segurança, Manutibilidade e Portabilidade). Cada característica é composta por subcaracterísticas relacionadas, como mostra a Figura 6.

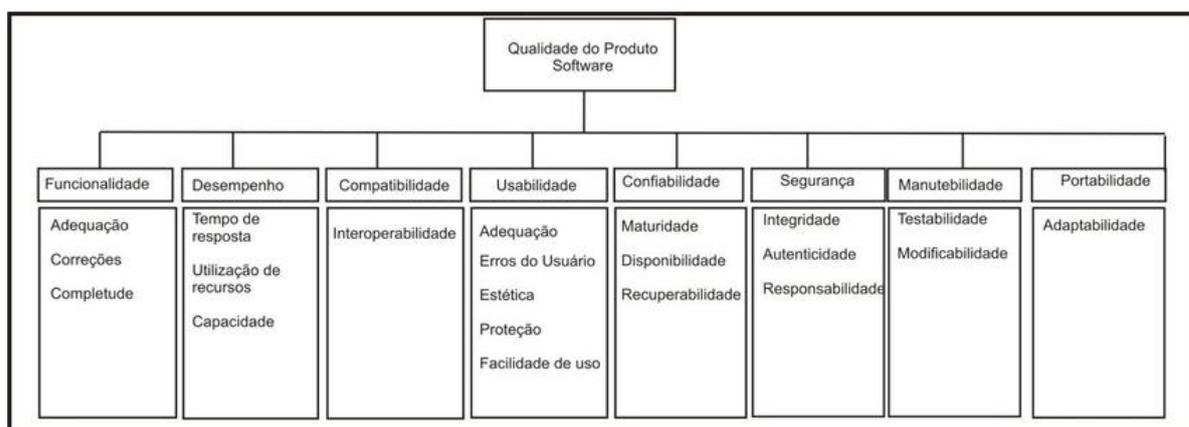


Figura 6 – Qualidade do Produto de Software ISO/IEC 25010:2011

Baseado na norma ISO/IEC 25010:2011 (ISO/IEC, 2011) e nas contribuições feitas por (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010), os questionamentos utilizados para avaliar cada subcaracterística são apresentados a seguir:

## B.1 Funcionalidade

A característica de Funcionalidade define o grau em que um produto ou sistema fornece funções que atendem às necessidades explícitas e implícitas quando usadas sob condições específicas.

### B.1.1 Adequação

O conjunto de funções abrange todas as tarefas especificadas e os objetivos do usuário?

### B.1.2 Correções

O produto ou sistema fornece os resultados corretos com o grau de precisão necessário?

### B.1.3 Completude

As funções facilitam a realização de tarefas e objetivos específicos?

## B.2 Desempenho

A característica de Desempenho fornece dados relacionados à quantidade de recursos usados sob condições estabelecidas.

### B.2.1 Tempo de resposta

Os tempos de resposta e processamento e as taxas de rendimento de um produto ou sistema, ao executar suas funções, atendem aos requisitos?

### B.2.2 Utilização de recursos

As quantidades e tipos de recursos utilizados por um produto ou sistema, ao desempenhar suas funções, atendem aos requisitos?

### B.2.3 Capacidade

Os limites máximos de um produto ou parâmetro do sistema atendem aos requisitos?

## B.3 Compatibilidade

A característica de Compatibilidade informa o grau em que um produto, sistema ou componente pode trocar informações com outros produtos, sistemas ou componentes, e/ou executar suas funções necessárias, enquanto compartilha o mesmo ambiente de hardware ou software.

### B.3.1 Interoperabilidade

Dois ou mais sistemas, produtos ou componentes podem trocar informações e usar as informações que foram trocadas?

## B.4 Usabilidade

A característica de Usabilidade indica o quão um produto ou sistema pode ser usado por usuários específicos para atingir metas especificadas com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso.

### B.4.1 Adequação

Os usuários podem reconhecer se um produto ou sistema é adequado às suas necessidades?

### B.4.2 Erros do Usuário

O sistema protege os usuários contra erros?

### B.4.3 Estética

A interface de usuário permite uma interação agradável e satisfatória para o usuário?

### B.4.4 Proteção

O sistema oferece maneiras de proteger o usuário contra ameaças externas?

### B.4.5 Facilidade de uso

O produto ou sistema possui atributos que facilitam a operação e o controle?

## B.5 Confiabilidade

A característica de Confiabilidade permite avaliar o grau em que um sistema, produto ou componente executa funções especificadas sob condições especificadas por um período de tempo especificado.

### B.5.1 Maturidade

O sistema, produto ou componente atende às necessidades de confiabilidade sob operação normal?

### B.5.2 Disponibilidade

O sistema, produto ou componente está operacional e acessível quando necessário para uso?

### B.5.3 Recuperabilidade

Caso aconteça uma interrupção ou falha, um produto ou sistema pode recuperar os dados diretamente afetados e restabelecer o estado desejado do sistema?

## B.6 Segurança

A característica de Segurança avalia se um produto ou sistema protege as informações e os dados para que as pessoas ou outros produtos ou sistemas tenham o grau de acesso aos dados adequado aos seus tipos e níveis de autorização.

### B.6.1 Integridade

Um sistema, produto ou componente impede o acesso não autorizado a, ou a modificação de programas de computador ou dados?

### B.6.2 Autenticidade

A identidade de um usuário ou recurso pode ser provada como sendo aquela reivindicada?

### B.6.3 Responsabilidade

As ações de um cliente ou entidade qualquer podem ser rastreadas exclusivamente para o cliente ou entidade?

## B.7 Manutibilidade

A característica de Manutibilidade define o grau de eficácia e eficiência com o qual um produto ou sistema pode ser modificado pelos mantenedores pretendidos.

### B.7.1 Testabilidade

Critérios de teste podem ser estabelecidos para o sistema, produto ou componente de forma eficaz e eficiente?

### B.7.2 Modificabilidade

O produto ou sistema pode ser modificado com eficácia e eficiência sem introduzir defeitos ou degradar a qualidade do produto existente?

## B.8 Portabilidade

A característica de Portabilidade é utilizada para medir a eficácia e eficiência com o qual um sistema, produto ou componente pode ser transferido de um hardware, software ou outro ambiente operacional ou de uso para outro.

### B.8.1 Adaptabilidade

O produto ou sistema pode ser adaptado de forma eficaz e eficiente para hardware, software ou outros ambientes operacionais ou de uso diferentes ou em evolução?

## B.9 CONCLUSÃO

Os questionamentos apresentados neste Apêndice formam um guia objetivo de como analisar cada subcaracterística das características da norma ISO/IEC 25010:2011 e das contribuições de (KALAIMAGAL; SRINIVASAN, 2010) para qualidade de produto de software, com objetivo de determinar a Qualidade Real Alcançada (QRA) de atividades de um projeto de software.

## Referências

- ALVARO, A.; ALMEIDA, E. Santana de; MEIRA, S. Romero de L. A software component quality framework. *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, ACM, New York, NY, USA, v. 35, n. 1, p. 1–18, jan. 2010. ISSN 0163-5948. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1668862.1668863>. 30
- ANBARI, F. T. Earned value project management method and extensions. *Project Management Journal*, v. 34, n. 4, p. 12–23, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/875697280303400403>. 19, 21, 22
- ATTARZADEH, I.; HOCK, O. S. Implementation and evaluation of earned value index to achieve an accurate project time and cost estimation and improve "earned value management system". In: *2009 International Conference on Information Management and Engineering*. Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, 2009a. p. 312–316. 55
- ATTARZADEH, I.; HOCK, O. S. Using enhancement method to improve earned value index to achieve an accurate project time and cost estimation. In: *2009 International Conference on Future Computer and Communication*. Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, 2009b. p. 421–425. 55
- BASIL, V. R.; CALDIERA, G.; ROMBACH, H. D. The goal question metric approach. John Wiley & Sons, Inc., 1994. 53
- BEAUMONT, N. Service level agreements: An essential aspect of outsourcing. *The Service Industries Journal*, Routledge, v. 26, n. 4, p. 381–395, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02642060600621563>. 29
- BERTOIA, M. F.; VALLECILLO, A. Quality attributes for cots components. *Proceedings of the 6th ECOOP Workshop on Quantitative Approaches in Object-Oriented Software Engineering (QAOOSE 2002)*, v. 1, n. 2, p. 128–144, November 2002. Disponível em: <http://www.lcc.uma.es/~av/publicaciones.html>. 30
- CHAU, K. W. The validity of the triangular distribution assumption in monte carlo simulation of construction costs: empirical evidence from hong kong. *Construction Management and Economics*, Routledge, v. 13, n. 1, p. 15–21, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01446199500000003>. 57, 58
- CONTE, T. et al. Web usability inspection technique based on design perspectives. *IET Software*, v. 3, n. 2, p. 106–123, April 2009. ISSN 1751-8806. 17, 18
- DEISSENBOECK, F. et al. Software quality models: Purposes, usage scenarios and requirements. In: *Proceedings of the Seventh ICSE Conference on Software Quality*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2009. (WOSQ'09), p. 9–14. ISBN 978-1-4244-3723-8. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1965830.1965832>. 15, 16
- DIESTE, O.; PADUA, A. G. Developing search strategies for detecting relevant experiments for systematic reviews. In: *First International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM 2007)*. Madrid, Spain: IEEE, 2007. p. 215–224. ISSN 1949-3770. 77

- FLEMING, Q. W. e. J. M. K. *Earned value Project Management*. Newton Square, 2000. 19
- FLORAC, W. A.; CARLETON, A. D. *Measuring the Software Process: Statistical Process Control for Software Process Improvement*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1999. ISBN 0-201-60444-2. 17
- FREEMAN, P. A. *Software perspectives: The system is the message*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1987. 25
- HARRELL, C. *System improvement using simulation*. Promodel Corp., 1992. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=4n9RAAAAMAAJ>>. 56
- HATHAWAY, J. Service level agreements: Keeping a rein on expectations. In: *Proceedings of the 23rd Annual ACM SIGUCCS Conference on User Services: Winning the Networking Game*. New York, NY, USA: ACM, 1995. (SIGUCCS '95), p. 131–133. ISBN 0-89791-704-9. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/219894.223017>>. 29
- HENDERSON, K.; ZWIKAEEL, D. O. *Does Project Performance Stability Exist? A Re-examination of CPI and Evaluation of SPI(t) Stability*. 2008. 16, 79
- HUIJGENS, H. Evidence-based software portfolio management: A tool description and evaluation. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (EASE '16), p. 17:1–17:5. ISBN 978-1-4503-3691-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2915970.2916012>>. 74
- IRANMANESH, H.; MOJIR, N.; KIMIAGARI, S. A new formula to “estimate at completion” of a project’s time to improve “earned value management system”. *2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, p. 1014–1017, 2007. 55
- ISO/IEC. *ISO-IEC 25010:2011 Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models*. Geneva, Switzerland, 2011. 25, 26, 27, 28, 129
- KALAIMAGAL, S.; SRINIVASAN, R. Q’facto 12: an improved quality model for cots components. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, v. 35, p. 1–4, 03 2010. 8, 30, 31, 32, 44, 45, 46, 58, 72, 129, 133
- KARTEN, N. How to establish service level agreements. 2001. 29
- KELTON, D. W.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A. *Simulation with Arena*. 1st. ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, Inc., 1997. ISBN 0070275092. 57
- KERZNER, H. *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. 10th. ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2009. ISBN 9780470278703. 19
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. v. 33, 08 2004. 18, 52
- KITCHENHAM, B. et al. Systematic literature reviews in software engineering – a systematic literature review. *Information and Software Technology*, v. 51, n. 1, p. 7 – 15, 2009. ISSN 0950-5849. Special Section - Most Cited

- Articles in 2002 and Regular Research Papers. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584908001390>>. 77
- LARSON, R.; FARBER, B. *Estatística aplicada*. New Jersey, NJ, USA: Prentice Hall, 2004. 70
- LAW, A. M.; KELTON, D. M. *Simulation Modeling and Analysis*. 3rd. ed. Pennsylvania, PA, USA: McGraw-Hill Higher Education, 1999. ISBN 0070592926. 57
- LEU, S.-S. et al. Improving traditional earned value management by incorporating statistical process charts. 2006. 16, 79
- LIPKE, W. Schedule is different. *PMI CPM Journal, The Measurable News*, 2003. 15, 16, 79
- LIPKE, W. Connecting earned value to the schedule. v. 18, 04 2004a. 55
- LIPKE, W. Independent estimates at completion - another method. p. 26–30, 10 2004b. 55
- LIPKE, W. Statistical methods applied to evm: The next frontier. *CrossTalk*, v. 19, p. 20–23, 06 2006. 14, 15, 78
- LIPKE, W. Project duration forecasting ... a comparison of earned value management methods to earned schedule. *The Measurable News*, v. 21, 01 2008. 78
- LIPKE, W. et al. Prediction of project outcome. *International Journal of Project Management*, v. 27, n. 4, p. 400 – 407, 2009. ISSN 0263-7863. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786308000331>>. 16, 79
- MA, X.; YANG, B. Optimization study of earned value method in construction project management. *2012 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, v. 2, p. 201–204, 2012. 16, 79
- MAFRA, S. N.; BARCELOS, R. F.; TRAVASSOS, G. H. Aplicando uma Metodologia Baseada em Evidência na Definição de Novas Tecnologias de Software. Florianópolis, SC, p. 239–254, out. 2006. 17, 18, 77, 78
- OBERNDORF, P.; SLEDGE, C.; STALEY, M. J. *Using EVMS with COTS-Based Systems*. Pittsburgh, PA, 2002. Disponível em: <<http://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?AssetID=6157>>. 21
- PEGDEN, C. D.; SADOWSKI, R. P.; SHANNON, R. E. *Introduction to Simulation Using SIMAN*. 2nd. ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, Inc., 1995. ISBN 0070493200. 56
- PMI. *Practice Standard Earned Value Management*. Pennsylvania, PA, USA, 2011. 19, 20, 21, 22, 53
- PMI. *Project Management Body of Knowledge - PMBOK*. Newton Square, 2013. 19, 20, 21
- PUTNAM, L. H.; MYERS, W. *Five Core Metrics: Intelligence Behind Successful Software Management*. New York, NY, USA: Dorset House Publishing Co., Inc., 2003. ISBN 0932633552. 17

- RUBINSTEIN, D. Standish group report: There's less development chaos today. 2009. 14
- SCHRIBER, T. J. Perspectives on simulation using gpss. In: *Proceedings of the 21st Conference on Winter Simulation*. New York, NY, USA: ACM, 1989. (WSC '89), p. 115–128. ISBN 0-911801-58-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/76738.76752>>. 56
- SHEPPERD, M. Early life-cycle metrics and software quality models. *Information and Software Technology*, v. 32, n. 4, p. 311 – 316, 1990. ISSN 0950-5849. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/095058499090065Y>>. 16
- SHULL, F.; CARVER, J.; TRAVASSOS, G. H. An empirical methodology for introducing software processes. *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, ACM, New York, NY, USA, v. 26, n. 5, p. 288–296, set. 2001. ISSN 0163-5948. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/503271.503248>>. 17, 18, 52, 53
- SOFTTEX. Mps.br: Melhoria de processo do software brasileiro - guia geral. 2012. Disponível em: <<http://www.softex.br/mpsbr>>. 15
- SOLOMON, P. *Using CMMI to Improve Earned Value Management*. Pittsburgh, PA, 2002. Disponível em: <<http://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?AssetID=5957>>. 15, 16, 79
- SOLOMON, P. J. Practical performance-based earned value. *Systems and Software Technology Conference*, 2006. 16
- SOLOMON, P. J. Performance-based earned value. *INCOSE International Symposium*, v. 15, 2007. 16, 26, 79
- SOLOMON, P. J. Basing earned value on technical performance. *CrossTalk*, 2013. 15
- SOUZA, A. D. de; ROCHA, A. R. C. A proposal for the improvement predictability of cost using earned value management and quality data. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, p. 190–201, 2013. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-642-39179-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39179-8_17)>. 53, 54, 68, 73
- SOUZA, A. D. de et al. A proposal for the improvement of project's cost predictability using earned value management and quality data – an empirical study. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 170–181, 2014. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-662-43896-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-662-43896-1_15)>. 53, 54, 58, 68, 73, 78
- STEIN, W. E.; KEBLIS, M. F. A new method to simulate the triangular distribution. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 49, n. 5, p. 1143 – 1147, 2009. ISSN 0895-7177. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717708002665>>. 57, 58
- SUAREZ, J. et al. *Three Experts on Quality Management: Philip B. Crosby, W. Edwards Deming, Joseph M. Juran*. Department of the Navy TQL Office, 1992. (TQLO publication). Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=PIRLGwAACAAJ>>. 27, 28, 31
- VANDEVOORDE, S.; VANHOUCKE, M. A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *International Journal of*

- Project Management*, v. 24, n. 4, p. 289 – 302, 2006. ISSN 0263-7863. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786305001080>>. 14
- VARGAS, R. V. Análise de valor agregado: Revolucionando o gerenciamento de prazos e custos. Ed. 6<sup>a</sup>, Rio de Janeiro, Brasport, 2013. 14, 19
- WOHLIN, C. et al. *Experimentation in Software Engineering: An Introduction*. Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 2000. ISBN 0-7923-8682-5. 54
- YERABOLU, R.; INSTITUTE, P. M. *Framework for Integrating Project Quality, Risk Management, and Integration Management Disciplines Into Earned Value Management (EVM) for Deriving Performance Based Earned Value (PBEV)*. PMI Virtual Library, 2010. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=rLv5sgEACAAJ>>. 16, 79