



UMA PROPOSTA PARA MELHORIA DA PREVISIBILIDADE DE
CUSTO DE PROJETOS, UTILIZANDO A TÉCNICA DE GERENCIAMENTO
DE VALOR AGREGADO E DADOS HISTÓRICOS DE CUSTO E
QUALIDADE

Adler Diniz de Souza

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação.

Orientador(es): Ana Regina Cavalcanti da Rocha

Rio de Janeiro
Setembro de 2014

UMA PROPOSTA PARA MELHORIA DA PREVISIBILIDADE DE CUSTO
DE PROJETOS, UTILIZANDO A TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DE VALOR
AGREGADO E DADOS HISTÓRICOS DE CUSTO E QUALIDADE

Adler Diniz de Souza

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Examinada por:

Profª. Ana Regina Cavalcanti da Rocha, D.Sc.

Prof. Geraldo Bonorino Xexéo, D.Sc.

Prof. Carlos Eduardo Sanches da Silva, Ph.D.

Prof. Adriano Bessa Albuquerque, D.Sc.

Profª. Sheila dos Santos Reinehr, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2014

Souza, Adler Diniz de

Uma Proposta para Melhoria da Previsibilidade de Custo de Projetos, Utilizando a Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado e Dados Históricos de Custo e Qualidade/ Adler Diniz de Souza. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XX, 294 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Ana Regina Cavalcanti da Rocha

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 179-183.

1. Gerenciamento de Valor Agregado. 2. Indicador de Desempenho de Custo. 3. Gerenciamento de Projetos. I. Rocha, Ana Regina Cavalcanti da. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. III. Título.

“A Deus pela inspiração, e que nos momentos mais improváveis se fez presente neste trabalho”

AGRADECIMENTOS

A *Deus* pela inspiração, e por se fazer presente nos momentos em que eu mais precisei.

Aos meus pais *Sebastião Francisco de Souza* e *Ana Diniz de Souza* pelo amor e dedicação incondicionais, por acordarem cedo e prepararem cada um dos milhares de cafés da manhã com enorme zelo, por me levarem e trazerem da escola até o colegial. Por cada noite sem dormir e cada oração a meu favor. Por serem meus maiores mestres e me ensinarem os verdadeiros valores da vida.

A minha esposa *Katiucia Dias Fernandes* também pelo amor incondicional, pelo companheirismo, pelas inúmeras viagens, pela compreensão nas inúmeras vezes que estive ausente, e pelos finais de semana e feriados de trabalho.

Aos meus irmãos *Alfraino* e *Iara*, também pelo amor, sintonia e pequenas brigas. Ao meu 30% filho *Caio Prado* por me aturar!

A minha orientadora *Ana Regina Rocha*, pela confiança depositada no decorrer desses anos, pelos ensinamentos, oportunidades, dedicação, apoio financeiro nos eventos e pelo exemplo de profissional íntegra, responsável e apaixonada pelo que faz.

Ao *Gleison Santos* pelas inúmeras revisões e dicas na tese.

A amiga *Tayana Conte* pelas inúmeras conversas e recomendações durante as conferências que participamos. Ao amigo *Mariano Montoni* e *David Zanetti* pelo apoio nos momentos mais difíceis.

A *FUMSOFT* e ao amigo *Carlos Barbieri* pelas inúmeras oportunidades de colocar em prática tudo aquilo que estudamos e pesquisamos.

Aos meus amigos *João Bosco* e *Laso*, pelas estadias no Rio de Janeiro.

Aos amigos da COPPE, da UNIFEI e a todos aqueles que, pessoalmente ou profissionalmente, contribuíram para a realização deste trabalho ou torceram pelo seu término. Aos funcionários do PESC, Taísa, Solange, Mercedes e outros por sua colaboração e zelo nos procedimentos administrativos.

Aos amigos, em especial os do grupo *Charlie*, pela compreensão pelos convites de festas e viagens recusados e pela ausência nos últimos anos.

Aos membros da banca, pela participação e pelas contribuições.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

UMA PROPOSTA PARA MELHORIA DA PREVISIBILIDADE DE CUSTO
DE PROJETOS, UTILIZANDO A TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DE VALOR
AGREGADO E DADOS HISTÓRICOS DE CUSTO E QUALIDADE

Adler Diniz de Souza

Setembro/2014

Orientador: Ana Regina Cavalcanti da Rocha

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Este trabalho descreve duas propostas de extensão da técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA). A primeira proposta de extensão da técnica de GVA utiliza dados históricos de desempenho de custos e a segunda utiliza dados históricos de qualidade. Ambas as propostas de extensão da técnica de GVA têm o objetivo de reduzir a variação do Indicador de Desempenho de Custo (IDC) e aumentar a exatidão ou a previsibilidade da Estimativa de custo No Término (ENT) de projetos de software.

As técnicas propostas foram avaliadas de acordo com uma metodologia baseada em experimentação. Essa metodologia previa um estudo de viabilidade utilizando dados de projetos simulados e um estudo de caso com 22 projetos reais. Em ambos os estudos avaliou-se a exatidão e a precisão das extensões propostas da técnica de GVA.

Os estudos conduzidos mostraram melhor exatidão e precisão de ambas as propostas de extensão da técnica de GVA em relação à técnica tradicional de GVA.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

A PROPOSAL FOR THE IMPROVEMENT OF PROJECT'S COST
PREDICTABILITY USING EARNED VALUE MANAGEMENT AND HISTORICAL
DATA OF COST AND QUALITY

Adler Diniz de Souza

September/2014

Advisor: Ana Regina Cavalcanti da Rocha

Department: System and Computer Engineering

This work describe two extension proposals of the Earned Value Management (EVM) technique. The first extension proposal of the EVM technique use historical data of the Cost Performance Index (CPI) and the second extension proposal use historical data of quality. Both proposals extension of EVM technique has the aim of reduce the CPI variation, and increase the accuracy of the Estimate At Completion (EAC) of Software Projects.

The proposed techniques were evaluated in accordance with an experimental methodology. This methodology had a feasibility study using simulated data of projects, and a case study with 22 real projects. In both studies were evaluated the accuracy and the precision of the extension proposals of the EVM technique.

The studies were conducted and shown better accuracy and precision to both extension proposals of EVM technique in relation to the traditional EVM.

ÍNDICE

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Motivações	1
1.2 Problema.....	2
1.3 Objetivo.....	4
1.4 Metodologia.....	4
Capítulo 2 - A Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado.....	7
2.1 Introdução.....	7
2.2 Gerenciamento de Custos.....	8
2.3 Histórico da Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA)	11
2.4 Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) Segundo o <i>Practice Guide to Earned Value Management</i> (PMI, 2011)	13
2.4.1 Elementos básicos do Gerenciamento de Valor Agregado (GVA).14	
Valor Planejado Acumulado (VP_{Acum})	14
Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum})	15
Custo Real Acumulado (CR_{Acum}).....	16
2.4.2 Técnica de GVA para a Análise de Desempenho	16
Variação de Prazos (VPR).....	16
Variação de Custo (VC)	17
Indicador de Desempenho de Prazos (IDP_{Acum})	18
Indicador de Desempenho de Custos (IDC_{Acum}).....	19
2.4.3 GVA para Previsão de Custo e Prazo de um Projeto	20
2.5 Norma de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 2007).....	23
2.6 Usando Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) em Projetos de Software ...	25
2.6.1 Áreas de Processo do CMMI (SEI, 2002) relacionadas ao GVA (ANSI/EIA-748, 1998)	26
2.6.2 Áreas de Processo do CMMI (SEI, 2002) Fortemente Relacionadas ao GVA (ANSI/EIA-748, 1998)	26

2.6.3	Componentes Informativos e Esperados do CMMI (SEI, 2002) que Apoiam as Diretrizes de GVA ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998).....	28
2.7	Problemas Apresentados Pela Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA)	30
2.8	Métodos Estatísticos Aplicados ao Gerenciamento de Valor Agregado (GVA).31	
2.8.1	Cálculo dos Limites Superiores e Inferiores da Estimativa de Orçamento No Término (ENT) de um Projeto	32
2.8.2	Cálculo da Probabilidade de Finalizar um Projeto com Sucesso dado uma Restrição de Orçamento e o IDC_{Acum}	33
2.8.3	Considerações sobre a Aplicação dos Métodos Estatísticos Apresentados.....	34
2.8.4	Considerações Finais Sobre o Uso de Métodos Estatísticos com o GVA.....	36
2.9	<i>Performance-Based Earned Value</i> (PBEV) Proposta de Integração de GVA com a Qualidade.....	36
2.10	Considerações Finais.....	47
Capítulo 3 - propostas Para calibração Da técnica de Gerenciamento de valor agregado (GVA).....		49
3.1	Introdução.....	49
3.2	Propostas para Calibração da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{DHC})	50
3.2.1	Utilização de Dados Históricos de Desempenho de Custo com Peso Para Cada Fase do Ciclo de Vida (Proposta 1)	51
3.2.1.1	Proposta de Equação para Estimar o IDC_{Est} Projetado para o Final do Projeto.....	54
3.2.1.2	Exemplo de Uso	56
<i>Passo 1: Coletar IDC_{Acum} das Fases do Ciclo de Vida, em Projetos já Finalizados.....</i>		56
<i>Passo 2: Utilizar IDC_{Acum} das Fases do Ciclo de Vida para Calcular Novo $IDC_{Estimado}$.....</i>		57

3.2.1.3	Problemas com a Primeira Proposta de Calibração do Indicador de Desempenho de Custo Acumulado (IDC_{Acum})	62
3.2.2	Calibração da Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVADHC) – Segunda Proposta	64
3.2.2.1	Exemplo de Aplicação da Primeira Proposta de Calibração da Técnica de GVA com dados Históricos de Desempenho de Custo Revisada.....	67
3.2.2.2	Avaliação da Proposta 1 Revista.....	69
3.3	Motivação e Premissas para a Proposta de Integração de Dados de Qualidade à Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA).....	71
3.3.1	Proposta de Integração de Dados Históricos de Qualidade à Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA).....	72
3.3.2	Visão Geral da Técnica.....	73
3.3.3	Atividades Organizacionais	74
3.3.4	Atividades de Planejamento da Qualidade do Projeto.....	77
3.3.5	Atividades de Monitoramento e Controle Utilizando a Técnica de GVA e Dados Históricos de Qualidade	78
(iii)	<i>Calcular Indicador de Desempenho da Defeito (IDD_{Acum})</i>	81
(iv)	<i>Projetar o Total de Defeitos Esperados (TDE) com Base no Indicador de Desempenho de Defeitos (IDD_{Acum}) da Fase.....</i>	81
(v)	<i>Calcular a Variação de Custo dos Defeitos</i>	82
(vi)	<i>Calcular a Estimativa No Término ($ENT_{Qualidade}$) (Integração da Técnica Proposta com o GVA).....</i>	83
3.3.6	Exemplo de Aplicação da Técnica de GVA com dados Históricos de Qualidade.....	84
3.4	Considerações finais	93
Capítulo 4 - Avaliação e evolução das Técnicas propostas através de uma metodologia Experimental.....		94
4.1	Introdução.....	94
4.2	Definição e Planejamento do Estudo de Viabilidade das Técnicas Propostas	95

4.2.1	Caracterização dos Projetos	98
4.3	Primeiro Estudo de Viabilidade da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})	99
4.3.1	Execução da Simulação de GVA com Dados Históricos dos Indicadores de Desempenho de Custo (IDC_{Acum})	102
4.3.2	Resultados Obtidos com a Utilização da Técnica de GVA com Dados	104
4.3.3	Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC}).....	104
4.3.4	Lições Aprendidas com a Utilização da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC}).....	109
4.4	Segundo Estudo de Viabilidade da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})	109
4.4.1	Execução da Simulação de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})	111
4.4.2	Resultados Obtidos com a Utilização da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC}).....	111
4.4.3	Lições Aprendidas com o Segundo Estudo de Caso	116
4.5	Terceiro Estudo de Viabilidade da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})	117
	A seguir são descritos os resultados obtidos com a utilização das técnicas.....	119
4.5.1	Resultados Obtidos com a Utilização da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC}).....	119
4.5.2	Lições Aprendidas com o Terceiro Estudo de Caso.....	123
4.6	Quinto Estudo de Viabilidade da Técnica de GVA com Dados Históricos de Qualidade (HDQ).....	124
4.6.1	Lições Aprendidas com o Quinto Estudo de Caso	130
4.7	Considerações Finais.....	131
	Capítulo 5 - Estudo de caso com projetos reais	133
5.1	Introdução.....	133
5.2	Definição e Planejamento do Estudo de Caso das Técnicas Propostas	133

5.3	Preparação	134
5.3.1	Coleta dos Dados de Desempenho de Custo.....	134
5.3.2	Análise da Variação do Indicador de Desempenho de Custo (IDC _{Acum}) dos Projetos.....	137
5.4	Avaliação da Técnica de GVA _{HDC} com Dados Históricos de Desempenho de Custo	142
5.4.1	Análise do Erro Médio (Exatidão) da ENT e da Variação (Precisão) dos IDC _{Acum} das Técnicas de GVA _{Trad} e GVA _{HDC}	144
5.4.2	Análise dos Melhores e Piores Resultados do Erro Médio (Exatidão) da ENT das Técnicas	150
5.4.3	Teste de Hipótese das Técnicas.....	156
5.4.4	Ameaças ao estudo	157
5.5	Avaliação da Técnica de GVA com Dados Históricos de Qualidade (GVA _{HDQ}).....	158
5.5.1	Coleta de Dados de Qualidade	159
5.5.2	Análise do Erro Médio (Exatidão) da ENT das Técnicas.....	160
5.5.3	Ameaças à Validade do Estudo.....	170
5.6	Considerações Finais.....	171
	Capítulo 6 - Conclusão e Perspectivas futuras	173
6.1	Considerações Finais.....	173
6.2	Contribuições.....	174
6.3	Perspectivas Futuras.....	177
	Referências Bibliográficas	179
	Anexo I – Estudo baseado em revisão sistemática sobre gerenciamento de valor agregado.....	184
I.1	Introdução.....	184
I.2	Protocolo do Estudo Baseado em Revisão Sistemática	186
I.2.1	Contexto	186
I.2.2	Objetivos e questões de pesquisa.....	187
	Objetivo	187
I.2.3	Questões de pesquisa	188
I.3	Escopo da pesquisa	189

I.3.1. Critérios adotados para seleção das fontes	189
I.3.2. Restrições	190
I.3.3. Idiomas	190
I.4. Métodos de Busca de Publicações	190
I.4.1. Procedimentos de Seleção e Critérios	192
I.5. Procedimentos para Extração dos Dados	196
I.6. Procedimentos para Análise	199
I.7. Planejamento e Execução.....	199
I.8. Definição do Escopo e Estudos Preliminares	200
I.9. Identificação de Publicações de Controle e Palavras-Chave.....	201
I.9.1 Primeira Rodada	202
I.9.2 Segunda Rodada	204
I.9.3. Terceira Rodada.....	205
I.9.4. Definição das Máquinas de Busca	206
I.10.1 Execução do Protocolo.....	210
I.11. Considerações sobre o Resultado do Estudo	214
I.11.1. Questões de pesquisa.....	215
I.12. Dados Coletados	226
I.13. Dados Coletados	233
ANEXO II – GLOSSÁRIO DE EQUAÇÕES	289
II.1 Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado Tradicional.....	289
II.2 Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado com Dados Históricos de Desempenho de Custo – Versão 1	290
II.3 Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado com Dados Históricos de Desempenho de Custo – Versão 2	291
II.4 Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado com Dados Históricos de Qualidade.....	292

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Elementos da Linha Base de Desempenho de um Projeto que Utiliza a técnica de GVA. Fonte: (STALEY <i>et al.</i> , 2002).....	13
Figura 2.2 – “Curva S” com Valor Planejado Acumulado (VP_{Acum}), Custo Real Acumulado (CR_{Acum}) e Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum}). Fonte: (PMI, 2011).....	15
Figura 2.3 – Curva “S” com VPR e VC. Fonte: (PMI, 2011).	18
Figura 2.4 – Curva “S” com os Indicador de Desempenho IDC_{Acum} . Fonte: (PMI, 2011).....	19
Figura 2.5 – Curva “S” com Orçamento no Término (ENT) e Término Para Completar (TAC), Gerados a Partir das Projeções de IDC_{Acum} e IDP_{Acum} . Fonte: (PMI, 2011).....	23
Figura 2.6 – Atividades Previstas no Processo GVA e PBEV. Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006).....	42
Figura 3. 1 – Resumo dos dois Cenários Discutidos para Justificar o Uso de um Peso na Proposta de Evolução da Técnica de GVA.....	53
Figura 3. 2 – Dados do Projeto Exemplo de Aplicação da Técnica Proposta	57
Figura 3. 3 – Exemplo de Aplicação da Técnica Proposta em um Projeto	67
Figura 3. 4 – Atividades Necessárias para a Utilização da Técnica Proposta	74
Figura 3. 5 – Gráfico com as NDE_{Acum} , NDI_{Acum} e NDC_{Acum} em Função do Percentual de Atividades de GQA Executadas ou Planejadas para Serem Executadas em uma Fase	80
Figura 3. 6 – Projeção das TDE utilizando o IDD_{Acum}	83
Figura 3. 7 – Orçamento e Tamanho do Projeto	86
Figura 3. 8 – Orçamento para Monitoramento e Controle do Projeto.....	88
Figura 3. 9 – Número de Defeitos Esperados Acumulados (NDE_{Acum}) para o Projeto, em Função do % Executado de Atividades de GQA	89
Figura 3.10 – NCE_{Acum} , NCI_{Acum} , NCC_{Acum} e Projeção do NCE baseado no EDPC	91
Figura 4. 1 – Exatidão – Erro Total da ENT Entre as Técnicas.....	105
Figura 4.2 – Precisão – Variação Total IDC_{Acum} das Técnicas $GVA_{Tradicional}$ e GVA_{HDC} ..	106
Figura 4.3 – Desvio Padrão das Medições do IDC_{Acum} das Técnicas $GVA_{Tradicional}$ e GVA_{HDC}	107

Figura 4.4–Erro Médio no Início, Meio e Fim dos Projetos (ENT _{25%} , ENT _{50%} e ENT _{75%})	108
Figura 4.5– Redução do Erro Médio da ENT Decorrentes do Aumento da Disponibilidade de Dados Históricos de Desempenho de Custo das Fases e da Redução da Amplitude do IDC _{Acum} das Fases.....	120
Figura 4.6– Redução da Variação do IDC _{Acum} com Amplitudes Diferentes	121
Figura 4.7– Redução do Erro Médio da ENT com o Aumento da Disponibilidade de Dados Histórico de Desempenho de Custo (IDC _{Acum}) das Fases.....	122
Figura 4.8–Redução da Variação do IDC _{Acum} com Aumento Disponibilidade de Dados Histórico de Desempenho de Custo (IDC _{Acum}) das Fases.....	123
Figura 4.9–Variação Total do IDC _{Acum} as Técnicas.....	128
Figura 5. 1 – Projeto Com IDC _{Acum} Instável.....	139
Figura 5.2 – Projeto Com IDC _{Acum} Estável	140
Figura 5.3– Erro Médio da Estimativa No Término (ENT) Quando os Projetos Tinham Sido 25% Executados	146
Figura 5.4 – Variação Média do Indicador de Desempenho de Custo (IDC _{Acum}) Quando os Projetos Tinham Sido 25% Executados.....	146
Figura 5.5 – Erro Médio da Estimativa No Término (ENT) Quando os Projetos Tinham Sido 50% Executados	147
Figura 5.6 – Variação Média do Indicador de Desempenho de Custo (IDC _{Acum}) Quando os Projetos Tinham Sido 50% Executados.....	147
Figura 5.7 – Erro Médio da Estimativa No Término (ENT) Quando os Projetos Tinham Sido 75% Executados	148
Figura 5.8 – Variação Média do Indicador de Desempenho de Custo (IDC _{Acum}) Quando os Projetos Tinham Sido 75% Executados.....	148
Figura 5.9 – Erro Médio da Estimativa No Término (ENT) Projetos 100% Executados	149
Figura 5.10 – Variação Média do Indicador de Desempenho de Custo (IDC _{Acum}) Quando os Projetos Tinham Sido 100% Executados	149

Figura 5.11 – Projeções das ENT_{Trad} e ENT_{HDC} calculadas usando o IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 19	150
Figura 5.12 – Variações do IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 19	151
Figura 5.13 – Gráfico de Box Plot do IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 19.....	152
Figura 5.14 – Projeções das ENT_{Trad} e ENT_{HDC} calculadas usando o IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 13	153
Figura 5.15 – Variações do IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 13	153
Figura 5.16 – Gráfico de Box Plot do IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 13.....	154
Figura 5.17 – Erro Médio (Exatidão) das $ENT's_{Trad}$ e $ENT's_{HDC}$ dos Projetos com 25%, 50% e 75% Executado	155
Figura 5.18 – Variação Média (Precisão) dos $IDC's_{Trad}$ e $IDC's_{HDC}$ dos Projetos com 25%, 50% e 75% Executado	156
Figura 5.19 – ENT_{Qual} e ENT_{Trad} Quando VCD for Negativo	162
Figura 5.20 – ENT_{Qual} e ENT_{Trad} quando VCD for Positivo.....	163
Figura 5.21 – ENT_{Hist} e ENT_{Qual} Quando VCD for Negativo	164
Figura 5.22 – Erro Médio ENT_{EERD} e ENT_{Trad} Antes da Execução da Fase de Teste.....	167
Figura 5.23 – Erro Médio ENT_{EDPC} e ENT_{Trad} Durante e Após a Execução da Fase de Teste	168
Figura 5.24 – Erro Médio de Todas as Atividades dos Projetos GVA Qualidade (Considerando ENT_{EERD} e $EDPC$ representado pelo EERD e EDPC) e GVA Tradicional considerando ENT_{Trad}	169

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Guia do <i>Performance-Based Earned Value</i> . Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006).....	39
Tabela 2.2 – Cronograma Para Produção dos Chicotes Elétricos. Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006).....	44
Tabela 2.3 – Cronograma Para Produção dos Chicotes Elétricos. Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006).....	45
Tabela 2. 4 – Alocação do Orçamento do Projeto. Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006)	47

Tabela 3.1 – Projeto Fictício, Cenário 1	52
Tabela 3.2 – Projeto Fictício, Cenário 2	53
Tabela 3.3 – Dados Históricos do IDC_{Acum} Acumulado das Fases do Ciclo de Vida.....	56
Tabela 3.4 – Medidas Tradicionais da Técnica de GVA, Extraídas do Projeto Exibido na Figura 3.2	58
Tabela 3.5 – Medidas da Técnica Proposta, Extraídas do Projeto Exibido na Figura 3.2 .	58
Tabela 3.6 – Projeto Fictício, Cenário 3	63
Tabela 3.7 – Projeto Fictício, Cenário 3	63
Tabela 3.8 – Medidas Tradicionais da Técnica de GVA, Extraídas do Projeto Exibido na Figura 3.3	68
Tabela 3.9 – Medidas da Técnica Proposta, Extraídas do Projeto Exibido na Figura 3.3 .	68
Tabela 3.10 – Medidas das Fases	70
Tabela 3.11 – Dados Históricos de Qualidade e de Gerenciamento de Projetos	85
Tabela 3.12 – Número de Defeitos Esperados (NDE_{Acum}) em Função do % Executado de Atividades de GQA da fase de Verificação	89
Tabela 3.13 – Projeção do Número de Defeitos Esperados (NDE_{Acum}) com Base na Estimativa de Defeitos Para Completar (EDPC), em Função do % Executado de Atividades de GQA da Fase de Verificação	91
Tabela 4.1 – Simulação dos dados de Esforço Estimado, Esforço Real, VP_{Acum} , CR_{Acum} e IDC_{Fases}	101
Tabela 4.2 – Valores Passados a Função Aleatório para a Simulação Inicial	101
Tabela 4.3– Percentual de Custo de Cada Fase do Ciclo de Vida	102
Tabela 4.4– Histórico de Indicadores de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) das Fases...	103
Tabela 4.5– Cálculo dos Erros da ENT e Variação do IDC_{Acum} das Técnicas GVA Tradicional e a Técnica de Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})	103
Tabela 4.6– Exatidão das Técnicas (Erro entre a Estimativa No Término (ENT) e o Custo Real (CR_{Acum}) medido no final da execução do projeto)	104

Tabela 4.7 – Precisão das Técnicas (Variação entre as medidas do $IDC_{Acum(N)}$ e $IDC_{Acum(N+1)}$).....	104
Tabela 4.8– Testes de Hipótese de Exatidão (ENT) com 95% de Nível de Significância	106
Tabela 4.9– Testes de Hipótese de Precisão (IDC_{Acum}).....	108
Tabela 4.10– Valores Passados a Função Aleatório Para a Simulação Inicial	110
Tabela 4.11– Comparação de Erro da Estimativa No Término (ENT) entre as Técnicas GVA_{Trad} e GVA_{HDC}	112
Tabela 4.12– Comparação de Erro da Estimativa No Término (ENT) entre as Técnicas GVA_{Trad} e GVA_{HDC}	112
Tabela 4.13– Ganho de Exatidão (Redução do Erro Médio) na Estimativa No Término (ENT) da Técnica de GVA_{HDC} em 25%, 50% e 75% de Execução do Projeto, em Relação à GVA_{Trad}	113
Tabela 4.14– Ganho de Exatidão (Redução do Erro Médio) na Estimativa No Término (ENT) da Técnica de GVA_{HDC} em 25%, 50% e 75% de Execução do Projeto, em Relação à GVA_{Trad}	113
Tabela 4.15– Ganho de Precisão (Redução da Variação do IDC_{Acum}) da Técnica de GVA_{HDC} em Relação à GVA_{Trad}	114
Tabela 4.16– Exatidão do ENT Entre Projetos que Utilizam a Técnica de GVA_{Trad} e GVA_{HDC}	114
Tabela 4.17– Testes de Hipótese de Exatidão do ENT para 1,5% Conhecido de IDC_{Acum} da Fase	115
Tabela 4.18– Amostra de Precisão do IDC_{Acum} entre Projetos que Utilizam a Técnica de GVA_{Trad} e GVA_{HDC}	115
Tabela 4.19– Testes de Hipótese de Precisão para 1,5% do IDC_{Acum} da Fase Conhecido	116
Tabela 4.20– Simulações Com Aumento do Percentual de Dados Históricos de Desempenho de Custo Disponíveis e Aumento da Amplitude do IDC_{Acum} da Fase	118

Tabela 4.21– Redução do Erro Médio (Exatidão) da ENT com Aumento da Disponibilidade de Dados Históricos de Desempenho de Custo das Fases e Redução da Amplitude do IDC_{Acum}	119
Tabela 4.22– Redução da Variação Total do IDC_{Acum} com com o Aumento da Disponibilidade de Dados Históricos de Desempenho de Custo das Fases e o Aumento da Amplitude de 20% para 40%	120
Tabela 4.23– Teste de Hipótese, Ganho de Exatidão e Ganho de Precisão Sobre a Redução da Amplitude das Fases	121
Tabela 4.24– Resultado da Análise de Regressão.....	123
Tabela 4.25 – Dados da Simulação de Qualidade.....	126
Tabela 4.26 –Erro Médio da ENTApresentados pela Técnica de GVA com Dados de Qualidade e GVA Tradicional.....	128
Tabela 4.27 – Testes de Hipótese de Erro da ENT ou Exatidão	129
Tabela 4.28 –Variação Total do IDC_{Acum} Apresentados pela Técnica GVA Tradicional e GVA com Dados de Qualidade – GVA_{HDQ}	129
Tabela 4.29 – Testes de Hipótese de Variação do IDC_{Acum} ou Precisão	130
Tabela 5.1 – Análise da Estabilidade do IDC_{Acum} e Ganho de Desempenho do IDC_{Acum} Próximo do Término da Execução do Projeto	138
Tabela 5.2– Informações dos Projetos Utilizados nos Estudos de Casos.....	141
Tabela 5. 3 – Erro Médio (Exatidão) da Estimativa No Término (ENT), e Variação Média (Variação) do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) das Técnicas.....	144
Tabela 5. 4 – Erro Médio (Exatidão) da Estimativa No Término (ENT), e Variação Média (Variação) do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) das Técnicas.....	145
Tabela 5.5 – Testes de Hipóteses do Erro Médio (Exatidão) da Estimativa No Término (ENT). Projetos com 25%, 50%, 75% e 100% executados – 95% de Significância	156
Tabela 5.6 – Testes de Hipóteses daVariação Média (Precisão) do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}). Projetos com 25%, 50%, 75% e 100% executados – 95% de Significância	157
Tabela 5.7 – Dados de Qualidade Coletados dos Projetos	160

Tabela 5.8 – Erro Médio (Exatidão) da Estimativa No Término (ENT), das Técnicas ..	167
Tabela 5.9 – Teste de Hipótese de Exatidão 95% de Significância	169

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta as motivações para condução da tese de doutorado, a definição do problema que será tratado, os objetivos da tese e a metodologia que será utilizada para sua condução.

1.1 Motivações

Atualmente o *Project Management Institute* (PMI) estima que aproximadamente 25% do PIB mundial é gasto em projetos e que cerca de 16,5 milhões de profissionais estão envolvidos diretamente em gerência de projetos no mundo. Esse volume de projetos e as mudanças no cenário mundial, cada vez mais competitivo, geram a necessidade de resultados mais rápidos, com maior qualidade, menores custos e menores prazos (VARGAS, 2014).

O sucesso dos projetos pode ser obtido por meio do atendimento dos requisitos do cliente, dentro dos objetivos de prazo, de custo e de qualidade definidos para o projeto (RUBINSTEIN, 2009).

Para avaliar se um projeto atingirá ou não os seus objetivos de prazo e de custo, diversas medidas são coletadas durante a sua execução, e diversos indicadores de desempenho são produzidos e analisados periodicamente. Quando desvios maiores que os toleráveis são encontrados em algum indicador de desempenho, ações corretivas são executadas a fim de melhorá-los. Dentre as principais técnicas existentes para análise de desempenho de custo, de prazo e de escopo, a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) (*Earned Value Management*) é considerada a mais confiável (LIPKE, 2006a).

A técnica de GVA integra dados de escopo, de tempo e de custo para medir o desempenho de projetos e prever seu custo e prazo final, com base no desempenho atual da equipe. A técnica ganhou grande importância quando, em 1967, o Departamento de Defesa (DoD), dos Estados Unidos, passou a exigir sua utilização como meio para controlar os custos dos projetos contratados (VANDEVOORDE e VANHOUCHE, 2006).

Um dos objetivos da técnica de GVA é prover meios para prever numericamente as saídas dos projetos (custo e cronograma), as quais são altamente dependentes do planejamento e das estimativas para completar o projeto, que são geradas com base na análise dos indicadores de desempenho dos projetos (LIPKE, 2006a).

Segundo (LIPKE, 2006a), sem números, a gestão científica não é possível. A técnica de GVA provê esses números como uma base para que os gerentes de projetos tenham uma descrição quantitativa dos projetos, fornecendo informações úteis para orientar e controlar os projetos.

Várias fórmulas derivadas de medidas da técnica de GVA estão disponíveis e têm sido estudadas nos últimos 15 anos. Entretanto, as pesquisas que objetivam melhorar a previsibilidade dos resultados de prazo e de custo permaneceram estagnadas durante a última década e ainda carecem de mais estudos (LIPKE, 2006a).

Particularmente em Engenharia de Software, alguns modelos de referência, tais como CMMI-Dev (SEI, 2006) e MR MPS.Br (SOFTEX, 2012), exigem a coleta de medidas e o desenvolvimento de indicadores de desempenho dos processos mais importantes para o alcance dos objetivos de negócio da organização.

Pelo fato dessa técnica 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, 2001) e (Solomon, 2000).

1.2 Problema

O problema tratado nesta tese está relacionado à falta de previsibilidade nos resultados de custo dos projetos de software que utilizam a técnica de GVA. Embora a técnica de GVA 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 e ZWIKAEL (2008) constataram vulnerabilidades na técnica, entre elas: (i) os dados do Indicador de Desempenho de Custo (IDC) nem sempre apresentam distribuição normal, o que dificulta a realização de projeções confiáveis; (ii) existe grande variação do IDC no decorrer da execução dos projetos; (iii) existe a tendência de piora no

desempenho do IDC quando os projetos se aproximam do término (LIPKE, 2000) e (iv) não há integração de dados históricos e de dados de qualidade à técnica de GVA (SOLOMON, 2002; 2005; 2006).

A respeito da vulnerabilidade apontada no item (ii), a técnica de GVA adota como premissa que não há uma grande variação do IDC após 20% de execução dos projetos (CHRISTENSEN *et al.*, 1993). Entretanto, diversos estudos detectaram que essa premissa é falha (ZWIKAEL *et al.*, 2000; HENDERSON e ZWIKAEL, 2008; LIPKE, 2009).

Os problemas apresentados e a utilização de uma premissa que, com frequência falha (sobre a variação do indicador de desempenho de custo), podem resultar na análise e uso do IDC de maneira inadequada, produzindo projeções de orçamento que, por vezes, se mostram pouco confiáveis (HENDERSON e ZWIKAEL, 2008). 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).

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

Assim, o objetivo de pesquisa desse trabalho consiste no desenvolvimento de duas extensões da técnica de GVA, integrando-as com variáveis de qualidade, e dados históricos de desempenho de custo das fases do ciclo de vida do projeto. É esperado que as propostas de melhoria da técnica de GVA proveja maior previsibilidade de custos se comparadas à abordagem tradicional/convencional da técnica de GVA.

Assim, a principal questão de pesquisa desse trabalho é: “As técnicas propostas nesse trabalho provêm maior previsibilidade de custo que a técnica GVA tradicional?”

Para responder a essa questão, foram formuladas duas hipóteses:

- **H₀**: A técnica de GVA tradicional provê previsibilidade de custo igual às técnicas propostas neste trabalho.
- **H₁**: A técnica de GVA tradicional provê previsibilidade de custo inferior às técnicas propostas neste trabalho.

Essa questão de pesquisa será detalhada nos próximos capítulos dessa tese, no momento em que cada técnica proposta for avaliada.

A precisão e a exatidão das técnicas também foram avaliadas em diferentes momentos dos projetos (próximo do início, do meio e do final da execução dos projetos).

Estas técnicas terão sua construção e avaliação apoiadas por experimentação, por meio de uma abordagem baseada em evidências (SHULL *et al.*, 2001; MAFRA *et al.*, 2006), que será apresentada na Seção 1.4. Além da avaliação experimental, esta abordagem auxiliará a transferência das novas técnicas para o mercado de forma segura, maximizando os benefícios de sua adoção.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho consiste em melhorar a previsibilidade de custo dos projetos de software, de acordo com a questão de pesquisa apresentada na Seção 1.2. Esse objetivo pode ser decomposto em 2 outros objetivos secundários, que são propor melhorias na técnica de GVA, que: (i) Integrem dados de qualidade e (ii) Integrem dados históricos de desempenho de custo (IDC) das fases de ciclo de vida dos projetos, à técnica tradicional de GVA.

O principal objeto de estudo deste trabalho é a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA), visando a melhoria na previsibilidade de custo 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 tese discutirá os resultados desta pesquisa, apresentando as extensões da técnica de GVA desenvolvidas para apoiar o monitoramento e controle de projetos e mostrará como essas extensões da técnica de GVA foram elaboradas a partir dos resultados de estudos secundários e avaliadas por meio de quatro estudos de viabilidade e um estudo de caso com projetos reais.

1.4 Metodologia

A metodologia baseada em evidências, adotada nesta tese, foi desenvolvida inicialmente na medicina, porque pesquisas indicaram que a opinião de especialistas

médicos não eram tão confiáveis quanto os resultados acumulados de experimentos científicos (KITCHENHAM *et al.*, 2009).

Desta forma, segundo KITCHENHAM (2004) a Engenharia de Software deve basear-se em evidências, de forma análoga ao que é feito na Medicina, provendo meios pelos quais melhores evidências provenientes da pesquisa possam ser integradas com experiência prática e valores humanos no processo de tomada de decisão, considerando o desenvolvimento e a manutenção do software.

Para apoiar a definição e o aprimoramento das novas propostas de extensão da técnica de GVA que serão desenvolvidas neste trabalho, será utilizada a abordagem baseada em evidência apresentada em MAFRA *et al.* (2006). Segundo CONTE (2009), esta abordagem é uma extensão da metodologia proposta em SHULL *et al.* (2001) para a introdução de tecnologias de software na indústria, que se baseia em estudos experimentais como forma de determinar o que funciona ou não na aplicação da tecnologia proposta.

Esta metodologia tem sido tradicionalmente utilizada nas pesquisas realizadas pelo grupo de Engenharia de Software Experimental da COPPE/UFRJ (SILVA, 2004; KALINOWSKI e TRAVASSOS, 2005; MAFRA *et al.*, 2006), o que permitiu a identificação de oportunidades de melhoria que resultaram na proposição de uma extensão apresentada em (MAFRA *et al.*, 2006).

MAFRA *et al.* (2006) identificaram a necessidade de executar estudos secundários antes dos estudos primários sugeridos em SHULL *et al.* (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 (2009), na extensão proposta por MAFRA *et al.* (2006), a metodologia é dividida em duas partes, sendo que a primeira parte contém a extensão proposta e a segunda contém a metodologia original definida por SHULL *et al.* (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 *et al.* (2001) e a extensão proposta por (MAFRA *et al.*, 2006). A fase de estudo observação será suprimida, em decorrência do presente trabalho não propor um conjunto de passos diferente para a aplicação das novas técnicas.

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 o aumento da previsibilidade do Indicador de Desempenho de Custo (IDC). Os resultados desta revisão são parcialmente apresentados no Capítulo 2 e no Anexo I – Revisão Sistemática.
2. **Propor Inicial:** tendo por base a definição dos principais problemas resultantes da revisão sistemática executada, que são apresentadas no Capítulo 2, 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. Os resultados desses estudos serão apresentados no Capítulo 4.
4. **Executar Estudo de Caso com Projetos Reais:** visando caracterizar a adequação da técnica aos ciclos de vida de desenvolvimento de projetos de TI. Um estudo de caso com 22 projetos de desenvolvimento de software foi conduzido. Os resultados são apresentados no Capítulo 5.

CAPÍTULO 2 - A TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DE VALOR AGREGADO

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados à técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (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 desempenho da equipe. Apresenta ainda os principais problemas da técnica de GVA, identificados através de um mapeamento sistemático, e as soluções para os problemas encontrados na técnica de GVA.

2.1 Introdução

A técnica de GVA é utilizada como um meio para se medir e comunicar o progresso físico real dos projetos e integrá-los a três elementos críticos para o seu sucesso (escopo, tempo e custo) (VANDEVOORDE e VANHOUCKE, 2006).

A técnica de GVA permite o cálculo de variações e índices de desempenho de custo e de prazo, que são utilizados para a realização de outros cálculos de previsão de custo e de prazo para completar os projetos. A técnica provê, ainda, indicadores que geram previsões para o projeto, dado o seu desempenho até o momento, tornando possível a execução de ações que visem corrigir eventuais desvios (ANBARI, 2003). Isso permite 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).

Segundo (PMI, 2013), a técnica de GVA tem um papel crucial no sucesso dos projetos, respondendo a questões gerenciais que são consideradas críticas, tais como: (i) estamos acima ou abaixo do cronograma?; (ii) quão eficientemente estamos usando o tempo?; (iii) quando o projeto, provavelmente, será finalizado?; (iv) estamos atualmente, acima ou abaixo do cronograma?; (v) quão eficientemente estamos usando os recursos?; (vi) qual é o trabalho restante e quanto ele vai custar?; (vii) quanto acima ou abaixo do orçamento estaremos no final do projeto, dada a produtividade atual da equipe?

Se a aplicação da técnica de GVA em um projeto revelar que ele apresenta 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: (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 (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 proposta”, trata-se das propostas apresentadas no Capítulo 03.

As propostas presentes nessa tese são todas relacionadas a melhoria de previsibilidade de custos dos projetos, dessa forma uma breve introdução a alguns conceitos relacionados ao gerenciamento de custos será apresentado na próxima seção.

2.2 Gerenciamento de Custos

Segundo o PMI (2013) o gerenciamento dos custos do projeto inclui os processos envolvidos no planejamento, estimativas, orçamentos, financiamentos, gerenciamento e controle dos custos, de modo que o projeto possa ser terminado dentro do orçamento aprovado do projeto.

Dentro desse contexto, um projeto normalmente possui 4 processos relacionados ao gerenciamento de custo, que são: (i) Planejar o gerenciamento dos custos; (ii) Estimar os custos; (iii) Determinar o orçamento e por fim (iv) Controlar os custos.

O processo **Planejar o gerenciamento dos custos** tem o objetivo de estabelecer as políticas, os procedimentos e a documentação para o planejamento, gestão, despesas e controle dos custos do projeto. O principal benefício deste processo é o fornecimento de orientação e instruções sobre como os custos do projeto serão gerenciados ao longo de todo o projeto (PMI, 2013)

Já o processo **Estimar os custos** tem o objetivo de desenvolver uma estimativa de custos dos recursos monetários necessários para terminar as atividades do projeto. O principal benefício deste processo é a definição dos custos exigidos para concluir os trabalhos do projeto (PMI, 2013).

Entre os custos estimados que são considerados para terminar as atividades estão, os custos: (i) diretos, (ii) indiretos, (iii) de qualidade e (iv) reservas gerenciais (PMI, 2013; ANSI/EIA-748, 2007).

Os custos diretos são os custos que são diretamente atribuídos ao trabalho do projeto (ANSI/EIA-748, 2007). Exemplo de custos diretamente atribuídos ao trabalho do projeto estão: (i) mão de obra necessária para o desenvolvimento das atividades do projeto, (ii) viagens necessárias para a execução do projeto, (iii) aquisição de material de uso exclusivo de um projeto, entre outros.

Já os custos indiretos são os custos para objetivos comuns ou conjuntos que não podem ser identificados especificamente com um projeto ou atividade particular (ANSI/EIA-748, 2007), ou seja, são custos que incorrem em benefício de mais de um projeto. Exemplos de custos indiretos são: (i) aluguel do imóvel onde os projetos estão sendo executados, (ii) custos de material permanente (computadores e softwares de uso comum da empresa), (iii) contas de telefone, água, luz, entre outros.

Os custos de qualidade incluem todos os custos incorridos nas atividades de gerenciamento da qualidade do projeto, e referem-se ao custo total de todos os esforços relativos à qualidade durante o ciclo de vida do produto (PMI, 2010).

Segundo FLORAC *et al.* (1997), o custo da qualidade inclui todos os custos necessários para buscar a qualidade, assim como os custos causados pela falta de qualidade, e podem ser divididos em custos de: (i) prevenção, (ii) avaliação e (iii) falhas.

Os custos da prevenção envolvem custos de: (i) atividades de gerenciamento de garantia da qualidade, (ii) atividades técnicas para desenvolver modelos completos de requisitos e projetos, (iii) planejamento de testes, (iv) todo o treinamento associado a essas atividades (FLORAC *et al.*, 1997).

Os custos de avaliação incluem atividades para a compreensão aprofundada da condição do produto, por exemplo custos para: (i) realização de revisões técnicas, (ii) a

coleta de dados e avaliação de métricas, (iii) testes e depuração e (iv) custos de falhas (FLORAC *et al.*, 1997).

Os custos de falhas podem ser divididos em custos de: (i) falhas internas (antes do produto ser entregue) e (ii) falhas externas (depois do produto ser entregue).

O custo de falhas internas envolve custos: (i) de retrabalho (reparos) para corrigir erros, (ii) que ocorre quando retrabalhos geram, inadvertidamente, efeitos colaterais que devem ser reduzidos e (iii) associados à reunião de métricas de qualidade que permitem a uma organização avaliar os modos de falha.

E por fim os custos de falhas externas (depois do produto ser entregue) envolvem: (i) resolução de reclamações, devolução e substituição de produtos, (ii) suporte telefônico/via e-mail e custos de mão de obra relacionadas à garantia da qualidade do produto (FLORAC *et al.*, 1997).

A proposta de integração de dados históricos de qualidade dessa tese tratará apenas dos custos relacionados à correção de defeitos (custo de retrabalho (reparo) para corrigir erros e, custo que ocorre quando retrabalhos geram, inadvertidamente, efeitos colaterais que devem ser reduzidos), ou seja, serão tratados os custos relacionados a falhas internas.

Esses custos serão considerados, porque segundo RAWAT *et al.*, (2012) o processo de identificar e corrigir defeitos é um dos mais caros e que mais consomem recursos e tempo em um projeto.

O processo **Determinar o orçamento** tem o objetivo de agregar os custos estimados de atividades individuais ou pacotes de trabalho para estabelecer uma linha de base dos custos autorizada. O principal benefício deste processo é a determinação da linha de base dos custos para o monitoramento e controle do desempenho do projeto, especialmente se a o projeto utilizar a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) (PMI, 2013).

E por fim, o processo **Controlar os custos** tem o objetivo de monitorar o andamento do projeto para atualizar o seu orçamento e gerenciar as mudanças feitas na linha de base de custos. O principal benefício deste processo é fornecer os meios de se reconhecer a variação dos custos planejados a fim de tomar medidas corretivas e preventivas, minimizando assim os riscos (PMI, 2013). A identificação dessas variações de custo é feita através do uso de técnicas que permitam realizar a análise de desempenho e a previsão do

custo final do projeto, sendo que a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) é uma das mais confiáveis (Lipke, 2006).

Sendo assim, a seguir será apresentado um breve histórico sobre a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA).

2.3 Histórico da Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA)

Uma técnica básica de Gerência de Valor Agregado (GVA) para gerência de projetos (frequentemente referenciada como *Earned Value* (EVA) ou *Earned Value Management* (EVM)) já era aplicada por engenheiros, no chão de fábrica, no final do século XIX (FLEMING *et al.*, 2000). Entretanto, somente por volta de 1967, o GVA foi introduzido por agências do governo federal americano, entre elas pelo Departamento de Defesa, como parte do sistema de controle de custo e prazo (*Cost/Schedule Control System Criteria* (C/SCSC)), sendo utilizado em grandes programas de aquisição (ANBARI, 2003).

O C/SCSC incorporava, sob a forma de 35 critérios, todo o sistema de controle a ser utilizado pelos interessados que desejassem participar de contratos com o governo. Por cerca de trinta anos, esses critérios foram utilizados para controlar riscos de crescimento dos custos em projetos (ANBARI, 2003).

Esses critérios, porém, eram restritos apenas à área governamental, uma vez que a maioria das empresas privadas julgava os 35 critérios como uma forma burocrática do governo interferir no modo de operação de cada organização (FLEMING *et al.*, 2000). Além dessa percepção de interferência, uma nova linguagem havia sido criada, com novos termos que, em muitas vezes, distanciavam o uso do C/SCSC no dia a dia dos projetos desenvolvidos pelas empresas.

Em 1985, foi criada a *Performance Management Association* (PMA), destinada a trabalhar próximo ao Departamento de Defesa Americano na Implementação do Valor Agregado. Treze anos depois a PMA se associou ao PMI e constituiu o *College of Performance Management* (CPM) (VARGAS, 2013).

O objetivo do CPM passou a ser, então, um relacionamento com o *PMI Standards Comitee* no sentido de dar ênfase às práticas de Valor Agregado utilizadas em todos os padrões desenvolvidos pelo PMI.

Em 1995, um grupo formado pela Associação Nacional de Indústria Defensiva (NDIA) ficou responsável por reescrever o conceito formal de Valor Agregado criado pelo Departamento de Defesa Americano, de modo a torná-lo mais adequado à indústria privada americana. O produto desse trabalho foi um conjunto de 32 critérios reescritos de uma forma simplificada, com foco na área industrial. Esses critérios foram levados ao Departamento de Defesa Americano, que os incorporou na instrução 5000.2R em 1997 (VARGAS, 2013).

Porém, a NDIA não desejava que esses critérios continuassem restritos ao Departamento de Defesa e conseguiu, em 1998, reconhecer formalmente junto à *American National Standard Institute* (ANSI) os conceitos de Valor Agregado, criando a norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998).

Para FLEMING e KOPPELMAN (2000), o mais importante em todo esse processo não foi a redução dos 35 critérios ou a simplificação dos termos, mas, sim, a mudança de atitude de todas as partes do processo, quando as empresas aplicariam os conceitos não somente por uma exigência governamental, mas, sim, por ser uma técnica viável e que produz resultados positivos.

Em paralelo com essas ações, o Congresso Americano publicou três atos (*Government Performance Act* de 1993, *Federal Acquisition Streamlining Act* de 1994 e o *Information Technology Management Reform Act* de 1996) que, a partir dessa data, requerem a aplicação de alguma forma de Gerenciamento de Valor Agregado em todos os projetos desenvolvidos pelos Estados Unidos, tornando-se uma política oficial de controle em todos os contratos do governo federal americano desde 1998 (VARGAS, 2013).

Atualmente existem duas normas principais que são utilizadas como referências para implantação do Gerenciamento de Valor Agregado (GVA). A primeira delas é o Guia de Gerenciamento de Valor Agregado do *Project Management Institute* (PMI) (PMI, 2013) e a segunda é a norma EIA-748-B (ANSI/EIA-748, 2007).

O guia do PMI (PMI, 2013) tem capítulos inteiros dedicados à apresentação das medidas básicas, indicadores de desempenho, análise de desempenho e projeções de custo e de prazo, com diversas imagens explicativas. Já a norma EIA-748-B (ANSI/EIA-748, 2007) não apresenta equações nem figuras, apenas o conjunto de diretrizes que devem ser obedecidas ao se prestar serviços para o governo americano.

A seguir a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) do PMI (PMI, 2013) será apresentada, e logo depois a norma EIA-748-B (ANSI/EIA-748, 2007).

2.4 Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) Segundo o *Practice Guide to Earned Value Management* (PMI, 2011)

Para usar corretamente o GVA deve ser estabelecida uma linha de base do desempenho do projeto. Os elementos de uma linha de base de desempenho são escopo, cronograma e custo (STALEY *et al.*, 2002), conforme ilustrado na Figura 2.1.

A integração destes elementos constitui a base com a qual o progresso pode ser monitorado e previsto. O escopo do trabalho que deve ser executado é normalmente definido e monitorado através de uma Estrutura Analítica de Projetos (EAP). A EAP representa todo o trabalho que está dentro do escopo do projeto de software. A EAP mostra claramente o trabalho, decomposto em três ou quatro níveis de detalhe (STALEY *et al.*, 2002).

Os elementos da EAP são decompostos em partes gerenciáveis chamadas Contas de Controle (CC). Contas de controle são compostas por tarefas as quais são agrupadas em Pacotes de Trabalho (PT). Um pacote de trabalho tem cronograma, orçamento e responsabilidade organizacional atribuídos a ele (STALEY *et al.*, 2002).

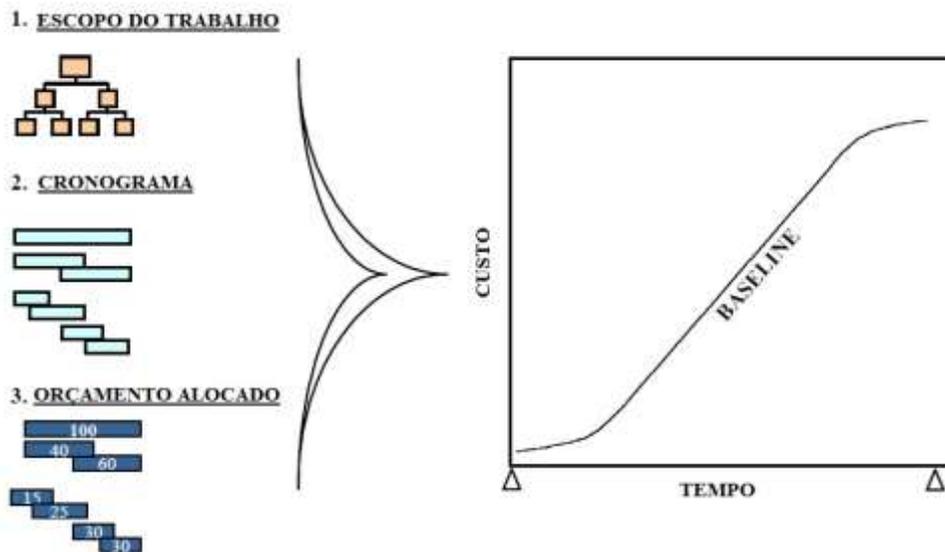


Figura 2. 1 – Elementos da Linha Base de Desempenho de um Projeto que Utiliza a técnica de GVA. Fonte: (STALEY *et al.*, 2002)

A seguir serão apresentados os elementos básicos da técnica de GVA.

2.4.1 Elementos básicos do Gerenciamento de Valor Agregado (GVA)

A técnica de GVA baseia-se em três medidas básicas, as quais são derivadas para gerar outras medidas e indicadores de desempenho. As medidas básicas são: (i) Valor Planejado Acumulado (VP_{Acum}), (ii) Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum}), e (iii) Custo Atual Acumulado (CA_{Acum}) (PMI, 2011). A seguir serão descritas cada uma dessas três medidas básicas.

Valor Planejado Acumulado (VP_{Acum})

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 (VP_{Acum}) (STALEY *et al.*, 2002).

O VP_{Acum} é o orçamento autorizado designado para o trabalho a ser executado para uma atividade ou componente da estrutura analítica do projeto, e representa quanto é esperado que se gaste no projeto até uma data específica. É, frequentemente, referenciado como a Linha Base de Custo do projeto. É com base na Linha Base de Custo do projeto que o desempenho atual do projeto pode ser medido. Após estabelecida, essa linha base de custo, ela pode ser alterada somente para refletir mudanças necessárias no escopo do trabalho (PMI, 2013).

O VP_{Acum} é, frequentemente, exibido com os recursos orçados acumulados, no decorrer do tempo de execução do projeto, como uma “curva S”, conforme exibido na Figura 2.2 (PMI, 2011).

No eixo X da Figura 2.2 é exibida a variável tempo e a medida Plano Para Completar (PAC), que mede o tempo previsto para finalizar o projeto. No eixo Y é exibida a variável custo e a medida Orçamento no Término (ONT). A curva em formato de “S”, no meio do gráfico, representa os valores acumulados de VP_{Acum} no decorrer do cronograma do projeto, o valor final da “curva S” é o custo total do projeto e é conhecido como Orçamento No Término (ONT).

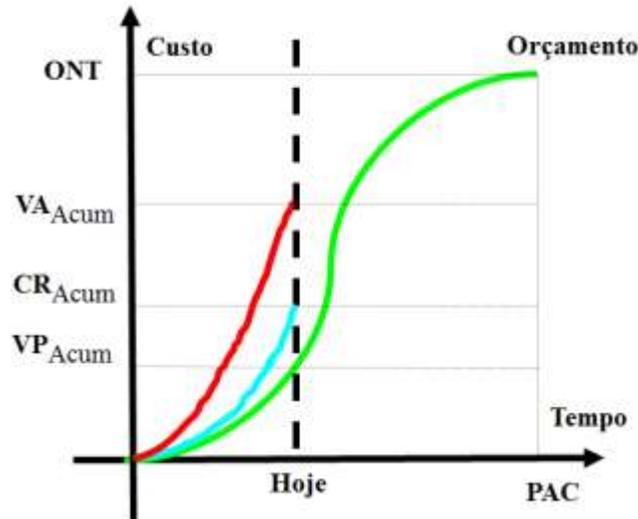


Figura 2.2 –“Curva S” com Valor Planejado Acumulado (VP_{Acum}), Custo Real Acumulado (CR_{Acum}) e Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum}). Fonte: (PMI, 2011)

É possível traçar uma linha paralela ao eixo X e outra paralela ao eixo Y, no final da “curva S”, indicando assim, respectivamente, o Orçamento No Término (ONT), que é o custo final estimado para execução do projeto, e o Plano Para Completar o Projeto (PAC), que representa o prazo final previsto para execução do projeto.

É possível saber quanto deveria ter sido gasto até uma data de controle específica (estimativa de Custo Planejado Acumulado (VP_{Acum}), traçando uma linha paralela ao eixo Y em qualquer intervalo de tempo desejado. A “curva S” da Figura 2.2 mostra ainda o Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum}) e o Custo Real Acumulado (CR_{Acum}), que serão descritos a seguir.

Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum})

O VA_{Acum} é o valor do trabalho terminado, expresso em termos do orçamento atribuído a esse trabalho para uma atividade ou componente da estrutura analítica do projeto (PMI, 2011). Ele reflete a quantidade de trabalho que foi realizado até uma data específica de controle, ou dentro de um período de tempo e é expresso na forma do valor planejado para o trabalho executado (ANBARI, 2003), ou em outras palavras, ele pode ser obtido multiplicando-se o trabalho executado pelo valor planejado para esse montante de trabalho, conforme a equação (1):

$$VA = \% \text{ Executado} * VP_{Acum} \quad (1)$$

O VA_{Acum} deve ser relacionado à linha base do VP_{Acum} , e o VA_{Acum} medido não pode ser maior que o orçamento VP_{Acum} do componente da estrutura analítica do projeto. O termo VA_{Acum} é, frequentemente, usado para descrever a porcentagem completa de um projeto (PMI, 2011). A sigla “Acum” foi utilizada para representar o valor acumulado da medida até a data específica de controle e será utilizada ainda em diversas outras equações, especialmente para as medidas de Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum}), Custo Real Acumulado (CR_{Acum}) e para o Indicador de Desempenho de Custo Acumulado (IDC_{Acum}).

Para exemplificar o uso dessa medida, considere uma atividade com $VP_{Acum} = R\$ 10.000,00$; se a quantidade de trabalho realizada permitiu que a atividade fosse 75% concluída, o valor do VA_{Acum} é de $R\$ 7.500,00$. Dessa forma o VA_{Acum} será sempre igual ao VP_{Acum} no final da execução do projeto.

Custo Real Acumulado (CR_{Acum})

O CR_{Acum} é o custo total incorrido, registrado na execução do trabalho para uma atividade ou para um componente da estrutura analítica do projeto. O CR_{Acum} não tem um valor máximo, tudo o que for gasto para atingir o VA_{Acum} deve ser medido e registrado (PMI, 2011).

A seguir o uso da técnica de GVA para análise de desempenho e previsão de custos e de prazo, será discutido.

2.4.2 Técnica de GVA para a Análise de Desempenho

Essa seção descreve como as medidas descritas anteriormente podem ser utilizadas para analisar o desempenho atual dos projetos e fazer projeções futuras de seu comportamento. Tanto a análise do desempenho atual quanto a realização de previsões, são realizadas por meio da coleta das medidas discutidas na seção anterior e do cálculo de medidas derivadas e de indicadores de desempenho que serão discutidos a seguir.

Varição de Prazos (VPR)

A VPR responde a questão “Estamos acima ou abaixo do cronograma planejado?” (PMI, 2013), funcionando como uma medida de desempenho do cronograma em um

projeto. Seu valor é dado pelo VA_{Acum} menos o VP_{Acum} , conforme a equação (2) (PMI, 2013):

$$VPR = VA_{Acum} - VP_{Acum} \quad (2)$$

Um valor positivo indica uma situação favorável e um valor negativo indica uma situação não favorável, em relação ao trabalho realizado, e, portanto, em relação ao cronograma do projeto (PMI, 2011).

A variação de prazos da técnica de GVA é uma medida útil, pois pode indicar que um projeto está se atrasando em relação à sua linha base de tempo. A variação de prazos da técnica de GVA se igualará a zero quando o projeto terminar, pois todos os valores planejados terão sido agregados (PMI, 2011).

Variação de Custo (VC)

A VC da técnica de GVA responde à questão “Estamos abaixo ou acima do orçamento planejado?” (PMI, 2011), atuando como uma medida de desempenho dos custos de um projeto. Seu valor é dado pelo VA_{Acum} menos o CR_{Acum} , conforme a equação (3) (PMI, 2011):

$$VC = VA_{Acum} - CR_{Acum} \quad (3)$$

Um valor positivo indica uma posição favorável e um valor negativo indica uma posição não favorável, em relação ao custo orçado (PMI, 2011). A VC da técnica de GVA é particularmente crítica, pois indica a relação entre o desempenho físico e os custos incorridos no projeto. Qualquer VC negativo é, com frequência, irrecuperável no projeto (PMI, 2011).

Os valores de VPR e VC podem ser convertidos em indicadores de eficiência para refletir o desempenho dos custos e dos prazos de qualquer projeto, para serem comparados com todos os outros projetos ou em um portfólio de projetos. As variações e os índices são úteis para determinar o andamento do projeto e fornecer uma base para a estimativa final de custos e de prazos (PMI, 2011). Esses indicadores de desempenho serão discutidos a seguir. A Figura 2.3 ilustra a “curva S” com as medidas derivadas VPR e VC.

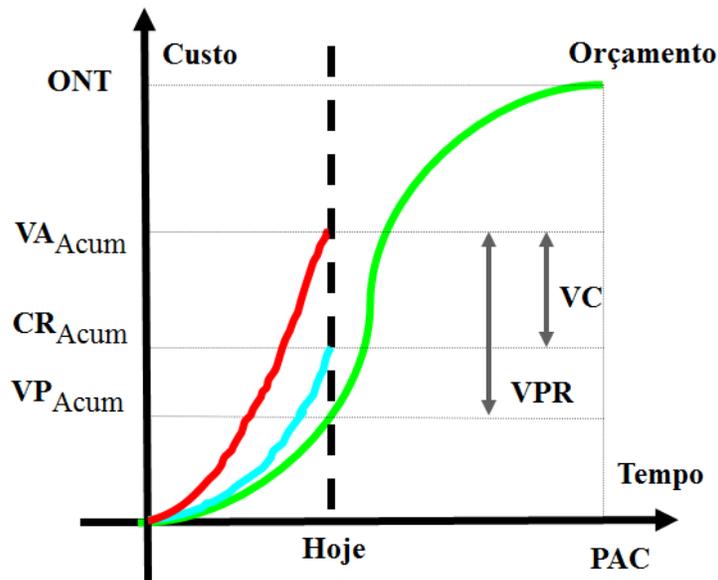


Figura 2.3 – Curva “S” com VPR e VC. Fonte: (PMI, 2011).

Indicador de Desempenho de Prazos (IDP_{Acum})

O IDP_{Acum} é um indicador do progresso alcançado comparado ao progresso planejado de um projeto (PMI, 2011). Mostra o quão eficientemente a equipe de projeto está usando o seu tempo (ANBARI, 2003). Por vezes, é utilizado em conjunto com o Índice de Desempenho de Custos (IDC_{Acum}), para prever as estimativas finais de custo e de prazo no término do projeto. Um valor de IDP_{Acum} menor que 1.0 indica que menos trabalho do que o planejado foi executado. Um valor de IDP_{Acum} maior que 1.0 indica que mais trabalho do que o planejado foi executado. Uma vez que o IDP_{Acum} mede todo o trabalho do projeto, o desempenho no caminho crítico deve, também, ser analisado para determinar se o projeto acabará antes ou depois da data de término planejada. O IDP_{Acum} é igual à razão entre o VA_{Acum} e o VP_{Acum} , conforme a equação (4) (PMI, 2011):

$$IDP_{Acum} = \frac{VA_{Acum}}{VP_{Acum}} \quad (4)$$

O IDP_{Acum} é, frequentemente, utilizado como uma referência do quão eficiente é a utilização dos recursos. Assim, um IDP_{Acum} com valor de 0,67, por exemplo, indicaria que 67% dos recursos estão sendo convertidos em trabalho e que 23% do trabalho está sendo desperdiçado (PMI, 2011).

Indicador de Desempenho de Custos (IDC_{Acum})

O Indicador de Desempenho de Custos (IDC_{Acum}) é uma medida do valor do trabalho executado comparado ao custo real ou progresso feito no projeto (PMI, 2011). Mostra o quão eficientemente a equipe de projeto está usando seus recursos (PMI, 2011).

O IDC_{Acum} é considerado o indicador mais crítico da técnica de GVA, porque mede a eficiência de custos do trabalho executado (equação (5)). Um valor de IDC_{Acum} menor que 1.0 indica excesso de gastos para o trabalho executado. Um valor de IDC_{Acum} maior que 1.0 indica economia de custo até o momento. IDC_{Acum} é igual à razão entre o VA_{Acum} e o CR_{Acum} (PMI, 2011) :

$$\text{IDC}_{\text{Acum}} = \frac{\text{VA}_{\text{Acum}}}{\text{CR}_{\text{Acum}}} \quad (5)$$

A Figura 2.4 mostra a “curva S” com o Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) e o Indicador de Desempenho de Prazo (IDP_{Acum}).

Os indicadores de desempenho de prazo e de custo podem ser utilizados para realizar projeções de prazo e de custo do projeto no término, pois indicam a produtividade da equipe no projeto. A seguir é discutida a utilização desses indicadores como um meio de prever os resultados finais de custo e de prazo.

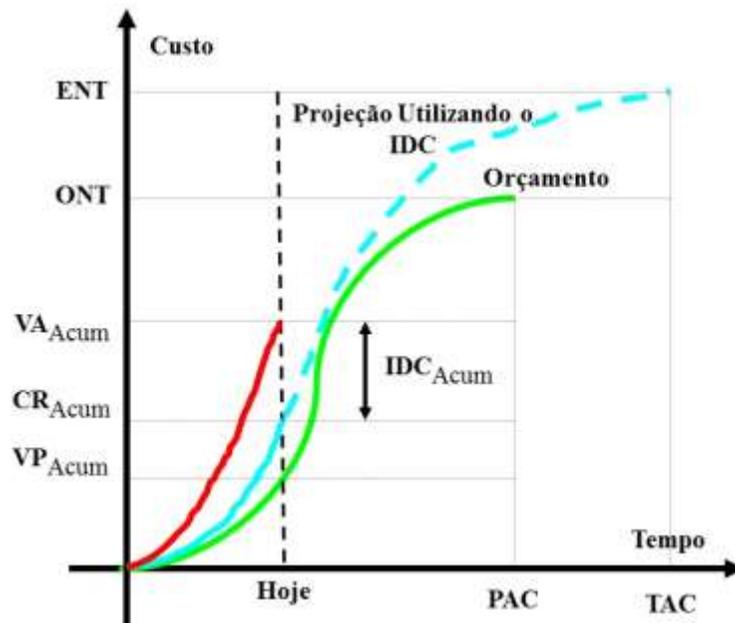


Figura 2.4 – Curva “S” com os Indicador de Desempenho IDC_{Acum}. Fonte: (PMI, 2011)

2.4.3 GVA para Previsão de Custo e Prazo de um Projeto

Uma parte importante do controle de custos é determinar as causas de uma variação, sua extensão e decidir se ela exige ações corretivas. O GVA utiliza a linha base contida no plano de gerenciamento do projeto, para avaliar o andamento do projeto e a extensão das variações que ocorreram (PMI, 2011).

Conforme o projeto progride, a equipe de projeto pode elaborar uma previsão para a Estimativa no Término (ENT), que pode ser diferente do Orçamento no Término (ONT) (que é a linha base de custo), com base no desempenho do projeto, conforme ilustra a Figura 2.5 (PMI, 2011). A Estimativa No Término (ENT), fornece a estimativa final de custo, caso a tendência seja que o Índice de Desempenho de Custo Acumulado (IDC_{Acum}) permaneça o mesmo e seja diferente de 1 (PMI, 2011).

Se for óbvio que o ONT não é mais viável, o gerente de projetos deve elaborar uma ENT prevista. Elaborar uma previsão da ENT envolve a busca de estimativas ou prognósticos de condições e eventos futuros para o projeto, com base em informações e conhecimento disponíveis no momento da previsão. As informações sobre o desempenho do trabalho englobam o desempenho passado do projeto e quaisquer informações que podem impactá-lo no futuro (PMI, 2013).

As ENT's são tipicamente baseadas nos custos reais incorridos para o trabalho executado, mais uma Estimativa Para Terminar (EPT) o trabalho restante (PMI, 2011)

Frequentemente, os gerentes de projetos desenvolvem ENT's de maneira manual, utilizando um método *bottom-up*, com base no conhecimento e experiência da equipe de projeto. Entretanto, esse método pode ser problemático porque interfere na condução do trabalho do projeto, pois o pessoal alocado na execução das atividades deve parar para fornecer essas informações (PMI, 2011).

Contudo, existe uma variedade de ENTs estatísticas, que podem ser calculadas rapidamente, a partir das medidas básicas de GVA e através de diversos cenários de riscos (PMI, 2011). A seguir, são apresentados três métodos que avaliam três cenários distintos:

- **Previsão da Estimativa no Término (ENT) com trabalho restante executado no ritmo estimado (premissa $IDC_{Acum} = 1$):** Este método aceita

o desempenho real do projeto até a data (se favorável ou desfavorável) como representado pelos custos reais e prevê que todo o trabalho futuro (Estimativa Para Terminar (EPT)) será executado no ritmo estimado. Quando o desempenho real é desfavorável, a premissa de que o desempenho futuro melhorará deve ser aceita somente quando for apoiada pela análise de riscos do projeto. O ENT nessas circunstâncias é dado pela equação (6) (PMI, 2011):

$$\mathbf{ENT} = \mathbf{CR}_{Acum} + \mathbf{ONT} - \mathbf{VA}_{Acum} \quad (6)$$

Essa equação considera que qualquer que seja o desempenho acumulado até o momento, maior ou menor que 1, ele mudará e permanecerá conforme planejado, ou seja, igual a 1, a partir da data atual até o final do projeto.

- **Previsão da Estimativa no Término (ENT) com trabalho restante executado com o índice de desempenho de custo IDC_{Acum} atual:** Este método assume que a tendência é que o Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) do projeto permaneça como o acumulado até a data da medição. O ENT nessas circunstâncias é dado pela equação (7) (PMI, 2011):

$$\mathbf{ENT} = \frac{\mathbf{ONT}}{\mathbf{IDCAcum}} \quad (7)$$

Essa é a equação mais utilizada para o cálculo do ENT (PMI, 2011).

- **Previsão da Estimativa no Término (ENT) considerando ambos os indicadores IDP_{Acum} e IDC_{Acum} :** Este método trabalha a Estimativa Para Terminar (EPT) (trabalho restante), executada com uma taxa de eficiência que considera os índices de desempenho de prazo e de custos. Pressupõe-se tanto um desempenho de custos negativo até a data, como um requisito de se atender um prazo fixo comprometido pelo projeto. Este método é mais útil quando o cronograma do projeto é um fator de impacto no esforço da EPT. Variações deste método pesam o IDC_{Acum} e o IDP_{Acum} utilizando critérios diferentes (por exemplo, 80/20, 60/40 ou outra proporção), de acordo com o julgamento do gerente de projetos. O ENT, nessas circunstâncias, é dado pela equação (8) (PMI, 2011):

$$\mathbf{ENT} = \mathbf{CR}_{Acum} + \frac{(\mathbf{ONT} - \mathbf{VAAcum})}{(\mathbf{IDCAcum} \times \mathbf{IDPAcum})} \quad (8)$$

Cada uma dessas abordagens pode ser correta para qualquer projeto e fornecerá à equipe gerencial um “sinal de aviso” antecipado, se as previsões de ENT não estiverem dentro dos limites de tolerância aceitáveis (PMI, 2011). A Figura 2.5 mostra a ENT e o Tempo para Completar (TAC), que representam as projeções do custo real, com o IDC_{Acum} , e do valor agregado com o IDP_{Acum} , respectivamente.

Se o IDC cumulativo ficar abaixo do plano da linha base, só será possível finalizar o projeto dentro do Orçamento No Término (ONT), caso o desempenho do trabalho restante esteja acima do plano da linha base (PMI, 2011). Nesse caso, outro índice de desempenho útil é o Índice de Desempenho para Término (IDPT), o qual ajuda a equipe a determinar a eficiência que deve ser alcançada no trabalho restante para que o projeto alcance um objetivo de gerenciamento específico, tais como orçamento no término (ONT) ou uma Estimativa No Término (ENT) (PMI, 2011).

Enquanto o IDC_{Acum} diz à equipe o quão eficiente está sendo o consumo dos recursos de custo, o IDPT foca a questão de desempenho futuro, questionando sobre qual nível de desempenho a equipe precisa manter no futuro, para alcançar o objetivo financeiro acordado com a gerência (KOPPELMAN, 2008). Se este nível de desempenho é alcançável ou não, é uma questão de julgamento baseada em um número de considerações, inclusive riscos, cronograma, desempenho técnico, qualidade, entre outros (PMI, 2013).

Se for óbvio que o ONT não é mais viável, o gerente de projetos deve elaborar uma ENT prevista. Uma vez aprovada, a ENT substitui o ONT como o objetivo de desempenho de custos. A equação (9) para o índice de desempenho para término (IDPT) é dado por (PMI, 2013):

$$IDPT = \frac{(ONT - VA_{Acum})}{(ONT - CRA_{Acum})} \quad (9)$$

Não há representação gráfica do IDPT.

A partir da ENT e do ONT, é possível obter a Variação Para o Término (VPT), a qual indica ao gerente de projetos o quanto acima ou abaixo do orçamento o projeto será finalizado. Esse valor é obtido por meio da equação (10) (PMI, 2011):

$$VPT = ONT - ENT \quad (10)$$

O VPT é ilustrado na Figura 2.5.

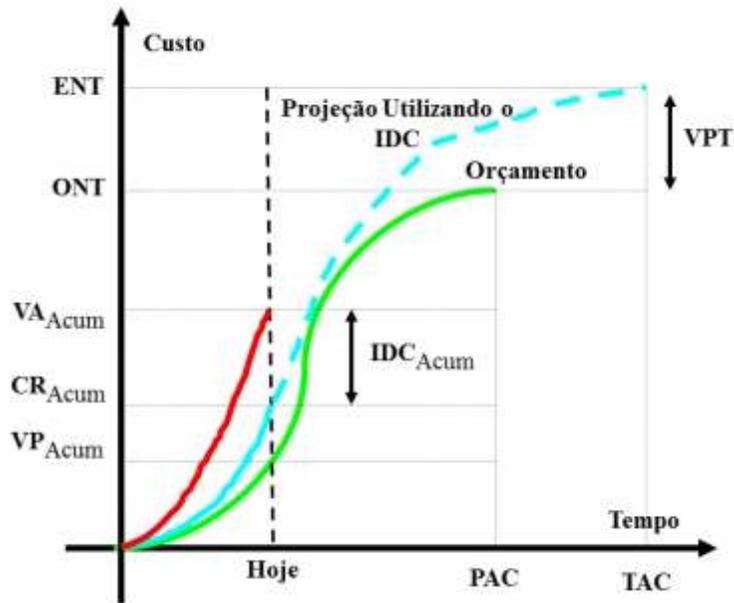


Figura 2.5 – Curva “S” com Orçamento no Término (ENT) e Término Para Completar (TAC), Gerados a Partir das Projeções de IDC_{Acum} e IDP_{Acum} . Fonte: (PMI, 2011).

2.5 Norma de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 2007)

A norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 2007) é uma norma americana que fornece diretrizes para as empresas utilizarem no estabelecimento e aplicação de um Sistema de Gerenciamento de Valor Agregado integrado (GVA). Essas diretrizes são expressas em termos fundamentais e proporcionam flexibilidade para cada empresa para otimizar seu sistema de controle e ser plenamente responsável pela eficácia de seu uso (ANSI/EIA-748, 2007).

As diretrizes são agrupadas em cinco categorias: (i) organização, (ii) planejamento, cronograma e orçamento, (iii) considerações contábeis, (iv) análises e relatórios gerenciais e (v) revisões e manutenções dos dados.

As diretrizes relacionadas à categoria “organização” tratam de questões como: (i) definir a Estrutura Analítica de Projetos (EAP), (ii) definir os responsáveis (empresas subcontratadas) por realizar o trabalho da EAP, (iii) integrar do planejamento do projeto com cronograma, orçamento e sistema de autorização do trabalho do projeto, (iv) identificar o responsável pelo controle dos custos indiretos, e (v) integrar a EAP no sistema

de controle do projeto, para que o monitoramento e controle do desempenho de custo e cronograma sejam realizados com base na EAP.

Já a categoria “planejamento”, cronogramas e orçamento propõe diretrizes relacionadas a: (i) agendar e sequenciar as atividades do projeto, (ii) identificar produtos físicos, metas, objetivos de desempenho técnico e indicadores que serão utilizados para medir o progresso do projeto, (iii) definir a linha base de custo e prazo, (iv) classificar os elementos de custo do projeto (por exemplo: mão de obra, materiais, custos indiretos, etc), (v) decompor a EAP em pacotes de trabalho e estabelecer os orçamentos para eles, (vi) verificar o orçamento do projeto, (vii) identificar e controlar dos custos indiretos ou de natureza geral, tais como: atividades de supervisão, administrar programas/projetos e administrar contratos, por exemplo, (viii) identificar reservas de gerenciamento para o projeto, (ix) analisar viabilidade dos orçamentos e reservas de custo do projeto.

A categoria “considerações contábeis” tratam, de diretrizes relacionadas ao registro dos custos diretos na EAP, através das contas controle e à identificação de custos unitários de unidades de trabalho.

A categoria “análise e relatórios” gerenciais recomenda: (i) gerar e analisar periodicamente as medidas de desempenho de valor agregado, relacionadas a custo (IDC_{Acum}) e prazo (IDP_{Acum}) do projeto e das contas controle da EAP, (ii) identificar variações nas medidas de desempenho de custo (IDC_{Acum}) e prazo (IDP_{Acum}) e nas medidas de custos indiretos, (iii) implementar ações corretivas como resultado da análise dos dados de valor agregado fornecidos e (iv) desenvolver a Estimativa No Término (ENT), também com base nas informações de valor agregado fornecidas.

Por fim a categoria “revisões e manutenção dos dados dos projetos” recomenda: (i) controlar de maneira integrada as mudanças e analisar o impacto dessas mudanças no orçamento e prazo dos projetos, (ii) definir políticas que impeçam a revisão do orçamento, exceto em caso de mudanças autorizadas e (iii) documentar mudanças na linha base de medição.

As diretrizes apresentadas na norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 2007) possuem similaridade com diversos modelos de referência industriais para melhoria de processo de software, como CMMI (SEI, 2002), por exemplo, especialmente nas áreas de processos relacionadas à gerência de projetos e medição e análise (SOLOMON, 2002).

A seguir a próxima seção descreve um conjunto de práticas específicas do CMMI (SEI, 2002) que possuem similaridade com a norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 2007). Essas práticas específicas do CMMI (SEI, 2002) também podem ser aplicadas para facilitar a implantação de GVA ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 2007).

2.6 Usando Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) em Projetos de Software

SOLOMON (2001) e LIPKE (2000) relataram iniciativas de implantação de GVA como meio de facilitar a implantação de algumas práticas do CMM (SEI, 1993) e CMMI-SW V1.1 (SEI, 2002) em empresas de software.

LIPKE (2000) relata o caso de sucesso da divisão de software do Centro de Logística aérea da cidade de Oklahoma nos Estados Unidos, o qual tornou-se CMM (SEI, 1993) nível 4 e ISO 9001 (TickIT) em 1996, tendo recebido um prêmio da IEEE pelo esforço empenhado no programa de Melhoria de Processo de Software da divisão.

Segundo LIPKE (2000) grande parte do sucesso alcançado pela divisão de software no programa de melhoria de processo e na implantação do CMM (SEI, 1993) nível 4, ocorreu devido ao fato deles terem utilizado o GVA como parte do processo de gerenciamento de projetos.

O GVA tem a estrutura necessária para tratar muitas áreas-chaves de processo (ACP) (ou *Key Process Areas* (KPA)) do CMM (SEI, 1993) nível 2 e 3. Devido à sua base quantitativa, o GVA facilitou o alcance do CMM (SEI, 1993) nível 4, especialmente as KPAs relacionadas ao processo Gerenciamento Quantitativo do Processo (LIPKE, 2000).

Em função desses e de outros relatos na literatura, no ano de 2002, Paul Salomon desenvolveu um relatório técnico para o *Software Engineering Institute* (SEI) com orientações para empresas que utilizam o Sistema de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) ou que planejam implementá-lo em conjunto com o CMMI. O relatório técnico CMU/SEI-2002-TN-016 denominado *Using CMMI to Improve Earned Value Management* fornece um conjunto de tabelas que: (i) identificam práticas do CMMI que não estão incluídas no GVA mas se adicionadas a processos de uma organização reforçarão a adesão aos princípios de GVA, (ii) podem ser usadas para desenvolver instrumentos que fornecerão evidências para uma equipe de avaliação que permita verificar e validar práticas

específicas com base na efetiva implementação de GVA (SOLOMON, 2002). Além disso, fornece informações sobre produtos típicos de trabalho e exemplos para ajudar aqueles que utilizam o CMMI para melhoria de processos. Finalmente, referências adicionais e um glossário GVA são fornecidos (SOLOMON, 2002).

Ainda que o relatório técnico seja do ano de 2002, quando o CMMI (SEI, 2002) ainda estava em sua primeira versão, grande parte das práticas específicas apontadas como práticas de grande relacionamento com o GVA permaneceram sem mudanças significativas até a versão 3.1 do CMMI (SEI, 2010), o que torna o relatório técnico ainda válido e útil para ser utilizado atualmente.

A norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) também foi atualizada no ano de 2007. Entretanto, nenhum dos 32 critérios foi alterado.

A seguir são descritas as áreas de processo e práticas específicas relatadas como muito relacionadas ao GVA.

2.6.1 Áreas de Processo do CMMI (SEI, 2002) relacionadas ao GVA (ANSI/EIA-748, 1998)

Segundo SOLOMON (2002) existe um conjunto de Áreas de Processo do CMMI (SEI, 2002) que são fortemente relacionadas ao GVA, mais especificamente com a norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998). Essas áreas de processo são: (i) Medição e Análise, (ii) Planejamento de Projetos, (iii) Monitoramento e Controle de Projetos, (iv) Desenvolvimento de Requisitos, (v) Gerenciamento de Requisitos e (vi) Gestão Integrada de Projetos.

O GVA também se relaciona com um conjunto práticas específicas nas seguintes áreas de processo: (i) Gerenciamento de Acordos com Fornecedores, (ii) Gestão de Riscos, (iii) Garantia da Qualidade do Produto e do Processo (SOLOMON, 2002).

2.6.2 Áreas de Processo do CMMI (SEI, 2002) Fortemente Relacionadas ao GVA (ANSI/EIA-748, 1998)

Existem, portanto, quatro áreas de processo, que são altamente relacionadas com GVA. Estas áreas de processo têm práticas específicas e componentes informativos que são fortemente relacionados com as diretrizes da norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748,

1998). Por fortemente relacionadas, entende-se que há uma relação um-para-um em ambos os documentos (práticas específicas e documentos típicos de trabalho do CMMI (SEI, 2002) e diretrizes da norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998)). Áreas de processo fortemente relacionadas, também, podem indicar que uma organização que usa a norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) pode ter alcançado altos níveis de capacidade e maturidade, e que a implementação dessa norma pode fornecer evidências objetivas para fundamentar a implementação prática durante uma avaliação CMMI (SOLOMON, 2002).

Isso ocorre, principalmente, em razão do CMMI (SEI, 2002) enfatizar uma abordagem integrada e quantitativa para o gerenciamento de projetos, incluindo a integração de parâmetros de planejamento relacionados a custo, cronograma e desempenho técnico, abordagem essa, comum também à norma ANSI/EIA-748 (SOLOMON, 2002).

A área de processo de Planejamento de Projetos no CMMI (SEI, 2002) possui 5 Práticas Específicas (SP) fortemente relacionadas com a norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998).

Segundo SOLOMON (2002) as práticas específicas do processo Planejamento de Projetos fortemente relacionadas à norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) são: (i) SP 1.1 Estimar o escopo do projeto, (ii) SP 1.2 Produtos de trabalhos e atributos das atividades, (iii) SP 1.4 Determinar as estimativas de esforço e custo. Todas essas práticas são do objetivo específico Estabelecer estimativas do CMMI (SEI, 2002).

Dentro do processo Planejamento de Projetos, no objetivo específico Desenvolver o plano do projeto, existem, ainda, duas outras SPs fortemente relacionadas à norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) que são: (i) SP 2.1 Estabelecer orçamento e cronograma e (ii) Planejar os recursos do projeto.

A área de processo Monitoramento e Controle de Projetos do CMMI (SEI, (SEI, 2002) também possui 5 práticas específicas fortemente relacionadas com a norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998).

Segundo SOLOMON (2002) as práticas específicas do processo Monitoramento e Controle de Projeto, fortemente relacionadas à norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) são: (i) SP 1.1 Monitorar os parâmetros do Plano de Projeto, (ii) SP 1.6 Conduzir a revisão do progresso. Essas práticas específicas pertencem ao objetivo específico Monitorar o Projeto contra o Plano.

Ainda dentro do processo de Monitoramento e Controle do Projeto, no objetivo específico Gerenciar Ações Corretivas até o Fechamento, existem ainda duas outras SPs fortemente relacionadas à norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) que são: (i) SP 2.1 Analisar problemas, (ii) SP 2.2 Tomar ações corretivas, (iii) SP 2.3 Gerenciar ações corretivas.

A área de processo Gerência de Acordo com Fornecedores do CMMI (SEI, 2002) possui apenas uma prática específica fortemente relacionadas com a norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998), essa prática está relacionada ao objetivo específico Satisfazer Acordos com Fornecedores. A SP é a 2.2 Executar o Contrato.

A área de processo Gerência Integrada de Projetos do CMMI (SEI, 2002) possui três práticas específicas que têm forte relação com o GVA ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998). Segundo SOLOMON (2002) as práticas específicas do processo de Gerência Integrada de Projetos, fortemente relacionadas à norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) são: (i) SP 1.3 Integrar os planos e integrar o Plano de Projeto, (ii) SP 1.4 Gerenciar o projeto utilizando os planos integrados, (iii) SP 2.2 Gerenciar dependências. Essas práticas específicas pertencem ao objetivo específico Utilizar o processo definido para o Projeto.

A área de processo de Medição e Análise do CMMI (SEI, 2002) possui 2 práticas específicas fortemente relacionadas com a norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998).

Segundo SOLOMON (2002) as práticas específicas do processo de Medição e Análise, fortemente relacionadas à norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) são: (i) SP 1.1 Estabelecer os objetivos de medição e (ii) SP 1.2 Especificar medidas. Essas práticas específicas pertencem ao objetivo específico Alinhar Atividades de Medição e Análise.

2.6.3 Componentes Informativos e Esperados do CMMI (SEI, 2002) que Apoiam as Diretrizes de GVA ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998)

Segundo Solomon (2002) existe, ainda, um conjunto de práticas específicas e de componentes informativos de cinco áreas de processo do modelo CMMI (SEI, 2002) que fornecem orientações mais explícitas do que a norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) para a implementação de melhorias de processos que atendam as diretrizes estabelecidas.

Em alguns casos, as diretrizes GVA são expressas de forma semelhante ao CMMI (SEI, 2002) mas são diferentes em conteúdo ou intenção. Conseqüentemente, uma organização que usa GVA pode achar que, depois de mapear seus processos com as práticas do CMMI (SEI, 2002) nominalmente semelhantes, existem lacunas entre os seus processos e as práticas esperadas pelo CMMI (SEI, 2002). Nesse caso a organização pode precisar melhorar a sua documentação ou adicionar atividades a seus processos atuais para atender aos requisitos do CMMI (SOLOMON, 2002).

As seguintes áreas de processo têm práticas específicas e componentes informativos do modelo CMMI (SEI, 2002) que abordam o controle técnico, de cronograma e de custo de um projeto, mas não têm contraparte na norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998): (i) Gerenciamento de Requisitos, (ii) Medição e Análise, (iii) Garantia da Qualidade de Processo e Produto, (iv) Desenvolvimento de Requisitos e (v) Gerência de Riscos (SOLOMON, 2002).

A área de processo de Gerência de Requisitos do CMMI (SEI, 2002) possui apenas uma prática específica que pode apoiar a implementação das diretrizes GVA ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998). Essa prática específica pertence ao objetivo específico Gerenciar Requisitos e é (i) SP 1.5 Identificar inconsistências entre produtos de trabalho e requisitos.

A área de processo de Medição e Análise do CMMI (SEI, 2002) possui duas práticas específicas que podem apoiar a implementação das diretrizes GVA ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998), essas práticas específicas pertencem ao objetivo específico Alinhar Atividades de Medição e Análise e são (i) SP 1.2 Especificar medidas e (ii) SP 1.3 Especificar procedimentos de coleta e armazenamento de medidas

A área de processo Garantia da Qualidade do CMMI (SEI, 2002) possui 4 práticas específicas que podem apoiar a implementação das diretrizes GVA ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998). As práticas específicas pertencentes ao objetivo específico Avaliar objetivamente os produtos de trabalho e os processos são (i) SP 1.1 Avaliar objetivamente os processos, (ii) SP 1.2 Avaliar objetivamente produtos de trabalho e serviços. Ainda dentro do processo Garantia da Qualidade do CMMI (SEI, 2002), no objetivo específico Prover Visão Objetiva, existem duas outras SPs que podem apoiar a implementação da norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) que são: (i) SP 2.1 Comunicar e garantir a resolução de problemas e não conformidades e (ii) SP 2.2 Estabelecer registros.

A área de processo Desenvolvimento de Requisitos do CMMI (SEI, 2002) possui apenas uma prática específica que pode apoiar a implementação das diretrizes GVA ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998). A prática específica pertencente ao objetivo específico Analisar e Validar Requisitos é SP 3.3 Analisar Requisitos.

A área de processo Gerência de Riscos do CMMI (SEI, 2002) possui duas práticas específicas que podem apoiar a implementação das diretrizes GVA ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998). A prática específica pertencente ao objetivo específico Identificar e Analisar Riscos é SP 2.1 Identificar Riscos. Ainda no processo Gerência de Riscos, no objetivo específico Mitigar Riscos, existe uma outra SP que pode apoiar a implementação da norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998) que é: SP 3.1 Implementar planos de mitigação de risco.

Conforme apresentado nessa seção, existe uma grande similaridade entre diversas práticas específicas do CMMI (SEI, 2002) e as diretrizes da norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998). Sendo assim, é esperado que a implantação de um sistema de valor agregado dentro de uma organização facilitará, também, a implantação de diversas áreas de processo do CMMI (SEI, 2002), assim como o caminho inverso também é verdadeiro.

Entretanto, apesar da técnica de GVA ser amplamente utilizada em diversos projetos governamentais e privados, sendo seu uso mandatório em alguns casos, o mapeamento sistemático presente no Anexo I identificou alguns problemas em sua aplicação, que serão apresentados e discutidos a seguir.

2.7 Problemas Apresentados Pela Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA)

A técnica de Gerenciamento de Valor Agregado faz uso do Indicador de Desempenho de Custo (IDC) para realizar projeções de custos no término do projeto. Esse indicador é alvo de diversas pesquisas e discussões sobre sua aplicabilidade e confiabilidade para realizar projeções, como indicam os trabalhos realizados por (CHRISTENSEN *et al.*, 1993; ZWIKAEEL, 2000; LIPKE, 2006a e HENDERSON e ZWIKAEEL, 2008).

O foco das discussões sobre os problemas com a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado está na variação do IDC_{Acum} no decorrer do projeto. Confirmar se o IDC_{Acum}

apresenta uma variação tolerável, no decorrer de um projeto, é importante porque o IDC_{Acum} é utilizado para realizar projeções de custos ($ENT = ONT / IDC_{Acum}$).

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

Em 1993 CHRISTENSEN *et al.* (1993) conduziram um estudo com o objetivo de identificar a variação do IDC_{Acum} em projetos do Departamento de Defesa americano.

Nesse estudo CHRISTENSEN *et al.* (1993) observaram que os projetos apresentavam uma grande variação do IDC_{Acum} durante o início de sua execução (até 20% de execução) e que próximo a 20% de execução do projeto a variação do IDC_{Acum} ficava no máximo em torno de mais ou menos 10% em relação ao último IDC_{Acum} medido, e que essa variação reduzia cada vez mais até o término da execução do projeto.

Segundo CHRISTENSEN *et al.* (1993), isso significa que se em um dado momento o IDC_{Acum} medido em um projeto é igual a 0,87, quando ele foi 20% executado, é esperado que ele não varie mais que algo entre 0,78 e 0,96 até o término da execução desse projeto.

Este estudo generalizou o resultado, afirmando que qualquer projeto poderia utilizar a técnica de maneira confiável após 20% de execução dos projetos. Essa informação foi utilizada como critério para manutenção ou cancelamento de projetos, que apresentavam IDC_{Acum} inferior a 0,9 após 20% de execução, porque segundo o estudo, a estabilidade do indicador era uma evidência de que um projeto com IDC_{Acum} ruim era irrecoverável.

Confirmar se o IDC_{Acum} apresenta uma pequena variação permite fazer projeções de custo mais confiáveis, pois o custo não variaria mais que $\pm 10\%$ em relação à linha base, após 20% de execução do projeto.

A seguir serão apresentadas as propostas de extensão da técnica de análise de valor agregado, encontradas no mapeamento sistemático presente no Anexo I.

2.8 Métodos Estatísticos Aplicados ao Gerenciamento de Valor Agregado (GVA)

O problema de variação do IDC_{Acum} apresentado na seção anterior, motivaram diversos pesquisadores a buscarem novas soluções para melhorar a técnica de GVA.

Entre as propostas de extensão da técnica encontradas no mapeamento sistemático, diversas propostas envolvem a aplicação de métodos estatísticos com o objetivo de: (i) estimar a probabilidade de sucesso de um projeto, (ii) identificar o valor das reservas necessárias para completar o projeto com sucesso, (iii) calcular a probabilidade de sucesso do projeto, dada uma restrição de custo ou de reservas, (iv) estimar o custo final do projeto com um certo nível de confiança, entre outros.

Segundo LIPKE (2006a), para aplicar os métodos estatísticos ao GVA é necessário que um conjunto de propriedades dos dados sejam atendidas. Primeiramente é necessário certificar que os dados podem ser descritos por uma distribuição normal. Se isso ocorrer, a possibilidade de se fazer inferências e projeções com esses dados é simplificada. A segunda propriedade a ser justificada é se o valor utilizado representa o valor médio das observações. E a terceira é se os dados de variação da amostra estão disponíveis. Segundo LIPKE (2006a), essas propriedades estão interconectadas pois, sem o tipo de distribuição, por exemplo, nem a média e nem a variação pode ser corretamente determinada. E sem a média e a variação é difícil fazer qualquer inferência sobre a amostra.

A seguir é apresentada uma proposta para calcular os limites superiores e inferiores do orçamento de um projeto, com base em dados históricos de execução do projeto como um todo.

2.8.1 Cálculo dos Limites Superiores e Inferiores da Estimativa de Orçamento No Término (ENT) de um Projeto

Segundo LIPKE (2006a), se assumida a possibilidade de que IDC_{Acum} tem distribuição normal pode-se, então, fazer algumas inferências ou predizer o seu comportamento futuro. Pode-se, por exemplo, calcular os limites superiores e inferiores da Estimativa de orçamento No Término (ENT) de um projeto.

Usando estatística é possível calcular os Limites de Confiança (LC), com 90% ou 95% de nível de confiança. Segundo LIPKE (2006), basta aplicar a equação (11) para obter esses limites:

$$LC = Média \pm Z * \frac{Desvio\ Padrão}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

Onde:

- **Média:** representa a média da amostra. Nesse caso é utilizado o último IDC_{Acum} do projeto como média;
- **Z:** é o valor que representa o nível de confiança da amostra (que normalmente varia entre 90% e 99%). Para amostras compostas por mais de 30 observações esse valor pode vir da tabela de distribuição normal. Para amostras com menos de 30 observações deve-se utilizar a tabela *T-Student*;
- **Desvio Padrão:** representa o desvio padrão da amostra. No caso da aplicação dessa equação ao GVA, o IDC_{Acum} das atividades executadas até o momento no projeto é uma boa estimativa da média das observações (LIPKE, 2006a);
- \sqrt{n} : representa a raiz quadrada do número de observações. Nesse caso deve-se utilizar o número de atividades já executadas até o momento, ou seja, o número de atividades que permitiram a composição do IDC_{Acum} ;

Utilizando essa equação é possível estimar os limites máximos e mínimos do IDC_{Acum} e, a partir desses limites, calcular os limites para a Estimativa No Término (ENT), dado o desempenho de custo (IDC_{Acum}) e a variação observada no IDC_{Acum} do projeto até o momento.

Basicamente ao obter o IDC_{Acum} máximo e mínimo com a aplicação da equação (11), basta substituí-lo na equação apresentada na seção anterior para obter a Estimativa No Término (ENT):

$$ENT_{Máximo / Mínimo} = \frac{ONT}{CL (IDCAcum Máximo ou Mínimo)}$$

A seguir será discutida a proposta para o cálculo da probabilidade de sucesso de um projeto, dada uma restrição de orçamento e dado o desempenho da equipe até o momento.

2.8.2 Cálculo da Probabilidade de Finalizar um Projeto com Sucesso dado uma Restrição de Orçamento e o IDC_{Acum}

Segundo LIPKE (2006a), outra necessidade importante para a gerência de projetos é a capacidade de responder à questão: “Qual a probabilidade de sucesso desse projeto, dada a necessidade de atingir um objetivo de custo?”, como por exemplo, um Orçamento No Término (ONT) específico, dado que tenho um IDC_{Acum} conhecido.

O cálculo da probabilidade de sucesso de um projeto, dadas as suas restrições, envolve, basicamente, a aplicação da mesma equação (11). Entretanto, neste caso o que deseja é a probabilidade de sucesso ou o Z e não mais os limites superiores e inferiores.

Nesse caso, temos a seguinte transformação resultando na equação (12):

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= \text{Média} \pm Z * \frac{\text{Desvio Padrão}}{\sqrt{n}} \\ \mathbf{Z} &= \frac{(X - \text{Média})}{\frac{\text{Desvio Padrão}}{\sqrt{n}}} \\ \mathbf{Z} &= \frac{(X - \text{Média})}{\text{Desvio Padrão}} * \sqrt{n} \end{aligned} \quad (12)$$

Onde:

- **X**: representa a restrição imposta, que no caso deve ser dada por um IDC_{Acum} máximo. Se nesse caso a restrição for dada em custo ou se a restrição for um valor da ENT, basta dividir o ONT (que no final do projeto é igual ao VA_{Acum}) pelo ENT (que no final do projeto é igual ao CR_{Acum}) antes de utilizá-lo como X. Dessa forma, obtém-se um $IDC_{Restrição}$ que serve como a restrição imposta.

Segundo LIPKE (2006), para utilizar essa equação é necessário ainda utilizar o inverso de X e da Média. O inverso desses valores pode ser obtido dividindo-os por 1, ou seja, a equação (12) ficaria como a equação (13):

$$\begin{aligned} \mathbf{Z} &= \frac{\left(\frac{1}{X} - \frac{1}{\text{Média}}\right)}{\text{Desvio Padrão}} * \sqrt{n} \text{ ou} \\ \mathbf{Z} &= \frac{\left(\frac{1}{IDC_{Restrição}} - \frac{1}{IDC_{Acum}}\right)}{\text{Desvio Padrão}} * \sqrt{n} \end{aligned} \quad (13)$$

Uma vez obtido o valor de Z, a probabilidade de sucesso do projeto pode ser obtida consultando a tabela de distribuição normal.

2.8.3 Considerações sobre a Aplicação dos Métodos Estatísticos Apresentados

As seções anteriores apresentaram a aplicação dos métodos estatísticos no GVA. Entretanto, segundo LIPKE (2006a) existe alguns elementos que adicionam complexidade à aplicação desses métodos estatísticos em projetos de software, entre os elementos destacados por ele estão:

- **Normalidade:** como já destacado anteriormente, a normalidade dos dados permite a realização de uma série de inferências. Nas equações apresentadas, foi assumida a possibilidade do IDC_{Acum} ter distribuição normal. Entretanto, um estudo conduzido por (LIPKE, 2006a) demonstrou que os dados do IDC_{Acum} não têm distribuição normal, mas são deslocados para a esquerda (ou log normal);
- **População finita:** os métodos estatísticos assumem que a população em análise é infinita. No entanto, os projetos são finitos e têm um começo e um fim. Para populações finitas, os cálculos estatísticos devem ser ajustados. Como o projeto se move em direção à conclusão, o ajuste faz com que a probabilidade de sucesso se mova em direção a 100% ou zero, ou seja, o projeto foi concluído com êxito ou não. Da mesma forma, o ajuste faz com que o limite de confiança superior e inferior se aproximem, concluindo com o mesmo valor, a média.
- **Comportamento anormal:** valores de IDC_{Acum} muito diferentes dos demais (vide o que ocorre no início da execução de um projeto) podem gerar previsões muito diferentes se incluídas ou excluídas na análise. Essas previsões têm o potencial de provocar uma ação gerencial incorreta. Dessa forma, deve-se identificar comportamentos anormais utilizando Controle Estatístico de Processos (SPC), aplicando as regras de Shewhart e decidir se é necessária a remoção da amostra problemática. Segundo LIPKE (2006a) a remoção do IDC_{Acum} com comportamento anômalo melhora a previsão dos resultados do projeto e sua identificação permite a ação gerencial adequada.
- **Amostra com menos de 30 observações:** quando o número de observações da amostra é menor do que 30, a realização dos cálculos estatísticos pode ser feita usando a distribuição *t-Student*. Quando o número de amostras for maior ou igual a 30 deve-se utilizar a distribuição normal.
- **Redução do desempenho do IDC_{Acum} :** segundo CHRISTENSEN *et al.* (1993) o desempenho do IDC_{Acum} tende a ser pior próximo da conclusão do projeto. Não há uma explicação na literatura sobre esse resultado. Esse mesmo resultado também foi observado por Lipke (2005) e Zwikael (2008).

2.8.4 Considerações Finais Sobre o Uso de Métodos Estatísticos com o GVA

Uma das principais funções da técnica de GVA é facilitar a realização de projeções de custo em um projeto. Entretanto, o fato de um projeto ser composto de um número limitado de atividades (muitas vezes menos de 30), e da distribuição do IDC_{Acum} ser deslocada para esquerda, algumas adaptações devem ser feitas ao se aplicar os métodos estatísticos propostos por LIPKE (2006a).

O uso do logarítmo natural nos valores do IDC_{Acum} resolve o problema da distribuição deslocada para a esquerda, e a equação de adaptação para população finita corrige o problema de amostras finitas. Por fim, o uso da distribuição *t Student* resolve o problema do número de amostras ser menor que 30 observações. LIPKE (2006a) propõe o uso de um desvio padrão menor que o observado para resolver o problema relacionado à redução do desempenho do IDC_{Acum} próximo do final de sua execução, pois além do desempenho reduzir no final da execução do projeto (CHRISTENSEN *et al.*, 1993; LIPKE, 2006a e HENDERSON e ZWIKAEL, 2008) observaram a redução da variação do IDC_{Acum} próximo ao final da execução dos projetos.

Por fim, LIPKE (2006a) recomenda a utilização de gráficos de controle com os testes de estatibilidade propostos por Shewhart para identificar e retirar amostras com comportamento anormal do IDC_{Acum} dos projetos.

A aplicação desses métodos estatísticos tende a trazer maior previsibilidade de custos para projetos que utilizam o GVA.

A seguir será apresentada uma proposta de integração de qualidade ao GVA.

2.9 *Performance-Based Earned Value (PBEV)* Proposta de Integração de GVA com a Qualidade

Essa proposta nasceu de uma demanda gerada durante uma implementação CMM nível 3 na empresa *Northrop Grumman Corporation's Air Combat System (ACS)* a partir de 1995.

Segundo SOLOMON (2005) a empresa possuía um sistema GVA implementado e validado. Entretanto, durante uma reunião de auditoria da qualidade desse sistema GVA,

foi constatado que os projetos de software da empresa não estavam alcançando consistentemente os seus objetivos e as expectativas dos clientes.

Foi identificado que as atividades de definição da linha base, definição de marcos do cronograma e o conjunto de atividades relacionadas ao GVA do processo de gerência de projetos de software, poderiam ser melhoradas a fim de prover melhores medidas de desempenho relacionadas ao desenvolvimento, teste e ao retrabalho nos projetos (SOLOMON, 2005).

Foi recomendado que a empresa se empenhasse para desenvolver melhorias no processo de medição e nos relatórios de progresso dos projetos de software, de modo que os seguintes tópicos fossem contemplados: (i) determinação de critérios para determinar quais requisitos planejados são significativos para medir o progresso técnico do projeto, (ii) definição de critérios para estabelecer marcos, (iii) definição de procedimentos de análise de valor agregado e replanejamento interno para requisitos ou funcionalidades atrasadas, (iv) definição de procedimentos de análise de valor agregado e replanejamento interno para revisão de requisitos, (v) planejamento e medição do progresso durante a fase de correção dos defeitos (retrabalho) (SOLOMON, 2005).

Diante dessas recomendações foi desenvolvido o *Performance-Based Earned Value (PBEV)*. O PBEV é um conjunto de princípios e guias que especificam medidas técnicas de desempenho para uso com o GVA. Esses guias são baseados em padrões e modelos de engenharia de sistemas, engenharia de software e gerenciamento de projetos. O PBEV também, apoia as políticas e guias do Departamento de Defesa Americano (DoD) (SOLOMON e YOUNG, 2006).

Segundo SOLOMON e YOUNG (2006) o GVA tem limitações significativas com relação aos padrões e modelos de engenharia de sistemas, engenharia de software e gerência de projetos e que, a menos que essas limitações sejam resolvidas, não há garantias de que a linha base de gerenciamento inclua atividades que levem o projeto ao sucesso.

Para resolver essas limitações o PBEV se integra com diferentes normas do DoD, entre elas com o *Defence Acquisition Guidebook (DAG)* o *System Engineering Plan Preparation Guide (SEPPG)* o *Work Breakdown Structure Handbook (WBS)* o *Integrated Master Plan (IMP) and Integrated Master Schedule Preparation (IMS) Use Guide* (WYNNE, 2004), e normas ou guias que não são do DoD, tais como o CMMI-Dev V1.1

(SOLOMON, 2002) a norma IEEE1220 (IEEE1220, 2005) e o guia PMBOK (PMI, 2013) (SOLOMON e YOUNG, 2006).

Segundo SOLOMON e YOUNG (2006) a principal diferença entre o GVA e o PBEV é que o VA_{Acum} do PBEV é baseado na soma de duas medidas que são: o progresso para completar o conjunto de produtos de trabalho do projeto e para alcançar os requisitos do produto (também chamado de linha base técnica).

Duas normas fornecem os possíveis produtos de trabalho que podem definir os requisitos do produto ou a linha base técnica. Uma dessas normas é a IEEE1220 (IEEE1220, 2005) que define como possíveis produtos de trabalho: (i) a linha base de requisitos, (ii) linha base de requisitos verificada, (iii) arquitetura funcional, (iv) arquitetura funcional verificada, (v) arquitetura física e (vi) arquitetura física verificada (SOLOMON, 2005).

O CMMI (SEI, 2002) também fornece práticas que ampliam as diretrizes da norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 2007), listando um conjunto de produtos típicos de trabalho ao descrever as áreas de processo, em especial as áreas de processo de Desenvolvimento de Requisitos, Solução Técnica e Verificação. Entre os produtos de trabalho sugeridos na área de processo de Desenvolvimento de Requisitos, estão: (i) requisitos derivados, (ii) requisitos do produto, (iii) requisitos dos componentes do produto, (iv) requisitos de interface, (v) diagramas de atividades e de casos de uso e (vi) resultados da validação dos requisitos (SOLOMON, 2005).

Entre os produtos de trabalho sugeridos como saídas do PBEV, da área de processo de Solução Técnica, estão: (i) relacionamentos documentados entre requisitos e componentes do produto, (ii) modelagem dos componentes do produto, (iii) pacotes de dados técnicos, (iv) requisitos alocados, (v) critérios de verificação utilizados para garantir que os requisitos foram atendidos, (vi) documentos de controle Interface, (vii) modelagem implementada (SOLOMON, 2005).

Entre os produtos de trabalho sugeridos que devem ser gerados como saídas do PBEV, da área de processo de Verificação, estão: (i) critérios de entrada e saída para os produtos de trabalho, (ii) os resultados da verificação dos produtos de trabalho (SOLOMON, 2005).

Todos os produtos de trabalho citados anteriormente devem ter um conjunto de critérios de sucesso associados a eles. SOLOMON (2005) recomenda que seja utilizada a norma IEEE 1220, pois ela provê um conjunto de critérios de sucesso que podem ser utilizados nas revisões técnicas do projeto.

Para atender aos padrões e gerar os pacotes de trabalho previstos acima a PBEV define um guia. Esse guia PBEV é mostrado na Tabela 2.1. As diretrizes do guia encontram-se na primeira coluna da Tabela 2.1, a segunda coluna indica a fonte que pode ser consultada para atender à diretriz, a terceira coluna indica quais seções da fonte devem ser consultadas para atender a diretriz.

Tabela 2.1 – Guia do *Performance-Based Earned Value*. Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006)

Diretrizes <i>Performance-Based Earned Value</i>	Fonte	Seção
1.1 Estabelecer os requisitos de qualidade do produto e alocá-los para os componentes do produto.	CMMI PMBOK	DR PE 2.1, 2.2 8.1.1.3
1.2 Manter a rastreabilidade bidirecional dos produtos x componentes de produtos x requisitos de qualidade entre os planos de projeto, pacotes de trabalho, pacotes de planejamento e produtos de trabalho.	CMMI PMBOK	GR PE 1.4 5.5
1.3 Identificar as mudanças que precisam ser feitas para os planos de projetos, pacotes de trabalho, pacotes de planejamento e produtos de trabalho resultantes de alterações nos requisitos de qualidade de produtos.	CMMI PMBOK	GR PE 1.5 4.3, 5
2.1 Definir as necessidades de informação e objetivos de medição para o progresso dos requisitos de qualidade do produto.	CMMI IEEE 1220 EIA 632 PMBOK	MA PE 1.1 4.2.1, 4.2.2 5.2.3.1, 5.5, 8.1.3.5

... Continua na próxima página

Continuação da Tabela 2.1 – Guia do *Performance-Based Earned Value*. Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006)

Diretrizes <i>Performance-Based Earned Value</i>	Fonte	Seção
<p>2.2 Especificar produtos de trabalho e medidas com base no desempenho do progresso para satisfazer os requisitos de qualidade do produto como medidas básicas de valor agregado. Alguns exemplos de medidas de desempenho são:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resultados das análises de <i>trade-off</i>; • Requisitos alocados e desenvolvidos, com a modelagem feita ou testados com sucesso; • Medidas de desempenho técnicas alcançadas; • Critérios de sucesso para revisões técnicas; • Outros objetivos de qualidade alcançados. 	<p>CMMI CMMI CMMI</p>	<p>MA PE 1.2 DR PE 3.3 ADR PE 1.5</p>
<p>2.3 Especificar as definições operacionais para as medidas básicas de valor agregado, especificar em termos inequívocos e de maneira precisa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comunicação: O que foi medido, como foi medido, quais são as unidades de medida, e o que foi incluído ou excluído? • Repetição: a medição pode ser repetida dada a mesma definição para obter os mesmos resultados? 	<p>CMMI PMBOK</p>	<p>MA PE 1.2 8.1.3.2</p>
<p>2.4 Identificar os critérios de sucesso para revisões técnicas e a capacidade do produto para satisfazer as exigências de qualidade do produto.</p>	<p>IEEE 1220</p>	<p>3.1.1.6, 4.12, 5.2.4, 5.3.4, 6.4, 6.6, 6.8.1.5</p>
	<p>EIA 632</p>	<p>4.2.2</p>
<p>2.5 Estabelecer valores planejados divididos em fases para medir o progresso no sentido de cumprir os requisitos de qualidade do produto, datas e frequência para verificar o progresso do projeto e as datas quando a conformidade total será alcançada.</p>	<p>IEEE 1220 EIA 632 PMBOK</p>	<p>6.8.1.5, 6.8.6, 4.2.1, 4.2.2, Glossário 11.6.2.4</p>
<p>2.6 Alocar orçamento em pacotes de trabalho distintos para medir o progresso no sentido de cumprir os requisitos de qualidade do produto.</p>	<p>IEEE 1220 EIA 632 PMBOK</p>	<p>6.8.1.5, 6.8.6 4.2.1 5.2.3.1, 10.3.1.5</p>
<p>2.7 Comparar o montante do orçamento previsto e o montante do orçamento agregado no progresso para alcançar o atendimento aos requisitos de qualidade do produto.</p>	<p>IEEE 1220 EIA 632 PMBOK</p>	<p>6.8.1.5, 6.8.6 11.6.2.3 4.2.2, 6.1.2.6</p>

... Continua na Próxima Página

Diretrizes <i>Performance-Based Earned Value</i>	Fonte	Seção
3.1 Identificar as mudanças que precisam ser feitas nos planos de projetos, pacotes de trabalho, pacotes de planejamento e produtos de trabalho resultantes de respostas aos riscos.	PMBOK	11.1.3, 11.6.3.2
3.2 Desenvolver estimativas revisadas da Estimativa No Término (ENT) com base na quantificação do risco.	PMBOK	7.3.2.3
4.1 Aplicar PBEV a toda a EAP ou apenas para os componentes de maior risco.	CMMI LA	MA PE 1.2
4.2 Aplicar PBEV durante todo o ciclo de vida de desenvolvimento do sistema ou iniciar após o desenvolvimento de requisitos.	CMMI LA	MA PE 1.2
Abreviações		
DR: Desenvolvimento de Requisitos	PE: Prática Específica	
GR: Gerência de Requisitos	MA: Medição e Análise	
ADR: Análise de Decisão e Resolução	LA: Lições Aprendidas SOLOMON	

A Figura 2.6 mostra as atividades de GVA tradicional e o relacionamento dessas atividades com as atividades do PBEV que atendem ao conjunto de diretrizes citadas na Tabela 2.1. As atividades de GVA tradicional estão expressas nas caixas com linhas sólidas, e envolvem: (i) a definição do trabalho ou a elaboração da EAP, (ii) o planejamento do trabalho ou o desenvolvimento do cronograma e orçamento do projeto, (iii) a execução do plano, (iv) a medição do trabalho, (v) a análise de variação sobre as medidas coletadas e por fim, (vi) a execução de ações corretivas quando as variações são consideradas maiores que os limites toleráveis.

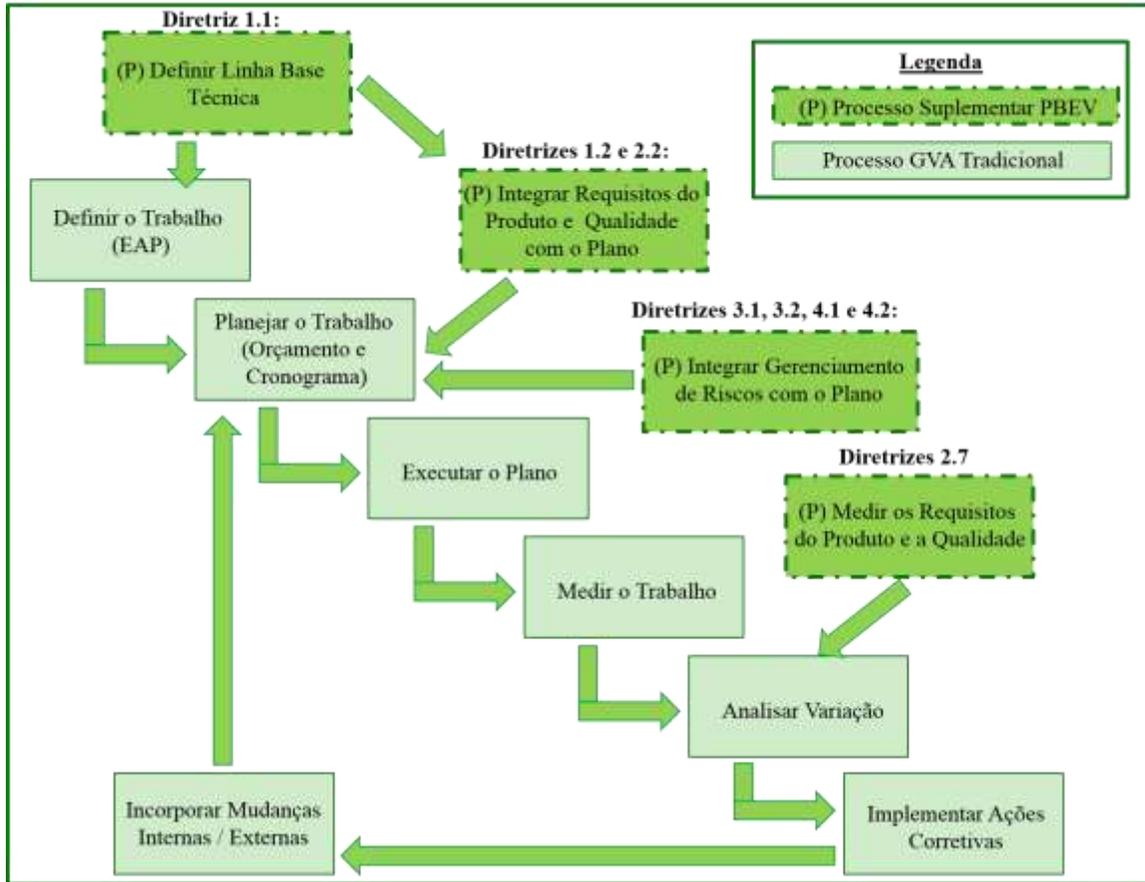


Figura 2.6 – Atividades Previstas no Processo GVA e PBEV. Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006)

A interceção da técnica de GVA com o PBEV ocorre na primeira atividade da técnica, durante a definição do trabalho (ou elaboração da EAP), onde há a definição da linha base técnica, através da geração de diversos artefatos relacionados ao desenvolvimento e gerência de requisitos (diretriz 1.1 da técnica PBEV).

Posteriormente ocorre outra integração das técnicas durante o desenvolvimento do plano de projeto (desenvolvimento do cronograma e orçamento do projeto), onde é necessário construir a matriz de rastreabilidade bidirecional dos requisitos e selecionar um conjunto de medidas de desempenho relacionadas à qualidade (diretrizes 1.2 e 2.2 da técnica PBEV). Ainda, nessa atividade, há a integração das diretrizes relacionadas ao gerenciamento de riscos (diretrizes 3.1, 3.2 e 4.1 e 4.2), com a técnica tradicional de GVA. Para atender a essas diretrizes é necessário: (i) avaliar a necessidade de mudança nos planos como resposta aos riscos anteriormente identificados, (ii) desenvolver novas ENT's com

base nos riscos anteriormente identificados, (iii) aplicar a PBEV nos elementos de maior risco da EAP ou (iv) iniciar a aplicação do PBEV após a identificação dos requisitos do produto.

O desenvolvimento de um sistema requer o desenvolvimento de componentes de software e hardware. Sendo assim, para discutir a aplicação da técnica PBEV serão discutidos 2 exemplos retirados de SOLOMON (2006). Os dois exemplos atendem às diretrizes relacionadas aos requisitos do produto (diretrizes 1.1, 2.2, 2.5, 2.6 e 2.7).

O primeiro exemplo trata do desenvolvimento de um hardware que faz parte de um componente de um subsistema e o segundo exemplo trata do desenvolvimento de um software.

Considere, então, um projeto cujo objetivo é gerar um conjunto de 50 chicotes elétricos. Os chicotes elétricos serão gerados a partir da execução de um pacote de trabalho, que é parte de um componente de um subsistema maior. O desenvolvimento desses chicotes envolve o desenvolvimento de atividades de modelagem, de produção, de verificação e de correção das peças.

A empresa que produz os chicotes elétricos determinou que existem dois requisitos de qualidade do produto que devem ser atendidos para que o produto seja aprovado. Os requisitos de qualidade do produto são respectivamente, o peso máximo e o diâmetro máximo. O peso máximo dos chicotes não deve ultrapassar 200 libras, e o diâmetro máximo não deve ultrapassar 1 polegada. A identificação desses requisitos de qualidade do produto representa o atendimento da diretriz *(1.1 Estabelecer os requisitos de qualidade do produto e alocá-los para os componentes do produto)*.

O orçamento estimado do pacote de trabalho é de 2.000 horas, sendo que cada chicote produzido tem um valor orçado de 40 horas *(diretriz atendida: 2.6 Alocar orçamento em pacotes de trabalho distintos para medir o progresso no sentido de cumprir os requisitos de qualidade do produto)*.

O cronograma para concluir o projeto dos chicotes e para o cumprimento dos requisitos de qualidade do produto é mostrado na Tabela 2.2 *(diretriz atendida: 2.5 Estabelecer valores planejados divididos em fases para medir o progresso no sentido de cumprir os requisitos de qualidade do produto, datas e frequência para verificar o progresso do projeto e as datas quando a conformidade total será alcançada)*.

A Tabela 2.2 mostra a quantidade de chicotes elétricos planejadas para serem desenvolvidas em cada mês.

Tabela 2.2 – Cronograma Para Produção dos Chicotes Elétricos. Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006)

Cronograma Planejado	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Total
Nro. de chicotes Produzidos	8	10	12	10	10	50

Uma vez planejado o orçamento e o cronograma do projeto, o progresso do VA_{Acum} do pacote de trabalho deve ser calculado através da execução dos produtos de trabalho, ou seja, através do desenvolvimento do projeto dos chicotes e mediante o atendimento dos requisitos de qualidade do produto (atendimento dos requisitos de qualidade de peso e diâmetro dentro dos limites especificados). Isso significa que o VA_{Acum} do projeto depende das atividades de verificação e validação que são realizadas para determinar se o projeto atende aos requisitos impostos.

Sendo assim o VA_{Acum} é diminuído (um VA_{Acum} negativo deve ser reportado) se o requisito de qualidade do produto não for atendido dentro do cronograma. Quando o requisito de qualidade do produto for finalmente atendido, então o VA_{Acum} é restaurado. Nesse exemplo o total de VA_{Acum} negativo possível é de 300 horas, conforme os requisitos de qualidade do produto que não são atendidos, por exemplo: (i) peso não atendido $VA_{Acum} = -100$, (ii) diâmetro não atendido $VA_{Acum} = -200$. A definição desses critérios para avaliar o desempenho dos produtos de trabalho representa o alcance da diretriz 2.2 do PBEV.

Suponha agora que é o mês de abril, e o cronograma /orçamento do projeto encontra-se conforme ilustrado na Tabela 2.3. Até o mês de abril todos os requisitos de qualidade do produto foram atendidos, exceto o tamanho do componente no mês de abril, o que gerará um VA_{Acum} negativo de -100 para a atividade relacionada a esse produto de trabalho. Esse VA_{Acum} negativo gerará um VA_{Acum} Líquido com valor menor (-100) em relação ao VA_{Acum} , conforme os dados da Tabela 2.3.

O fato de um requisito de qualidade do produto não ter sido atendido gerará impactos no custo e no cronograma do projeto, como pode ser visto no IDC_{Acum} PBEV calculado na Tabela 2.3. Se comparado o IDC_{Acum} tradicional com o IDC_{Acum} PBEV há uma

diferença de cerca de 6,5% entre esses indicadores. Essa diferença entre eles é zerada quando os requisitos de qualidade do produto são alcançados e o VA_{Acum} é zerado.

Tabela 2.3 – Cronograma Para Produção dos Chicotes Elétricos. Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006)

Cronograma Planejado	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Total
Nro. de Chicotes Planejados	8	10	12	10	10	50
Valor Planejado (VP)	320	400	480	400	400	2000
Valor Planejado Acumulado (VP_{Acum})	320	720	1200	1600	2000	2000
Chicotes Produzidos	9	10	10	12		
Custo Real (CR)	360	380	520	400		
Custo Real Acumulado (CR_{Acum})	360	740	1260	1660		
Valor Agregado (VA)	360	400	400	480		
Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum})	360	760	1160	1640		
VA_{Acum} Negativo Negativo (Requisitos de Qualidade Não Atendidos)	0	0	0	100		
VA_{Acum} Líquido Líquido ($VA_{Acum} - VA_{Acum}$ Negativo)	360	760	1160	1540		
IDC_{Acum} Tradicional ($\frac{VA_{Acum}}{CR_{Acum}}$)	1,00	1,027	0,92	0,98		
IDC_{Acum} PBEV ($\frac{VA_{Acum} Líquido}{CR_{Acum}}$)	1,00	1,027	0,92	0,92		

Segundo Exemplo: Desenvolvimento de Software

Uma segunda proposta de SOLOMON e YOUNG (2006) consiste em um método para medir o progresso do esforço de engenharia de sistemas e para realizar o gerenciamento, a rastreabilidade e a verificação de requisitos.

Sua proposta consiste em: atribuir um Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum}) para um requisito e, posteriormente, decompor esse requisito nas atividades apresentadas abaixo, atribuindo-as um percentual do Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum}) para a execução de cada atividade.

As atividades típicas incluem: definir os requisitos, validar os requisitos, determinar o método de verificação, destinar o requisito, documentar o processo de verificação, e verificar que o requisito foi cumprido. A matriz de rastreabilidade de requisitos deve ser usada para registrar o status de cada requisito à medida que progride através do ciclo de vida do projeto.

Para a implementação de um requisito, seria necessária a execução de seis atividades, e cada atividade possui um percentual de Valor Agregado ou de orçamento atribuída a ela, após a sua execução. Essas atividades e o respectivo percentual de orçamento ou VA são: (i) definir requisitos (15% do VA total do requisito), (ii) validar requisito (15% do VA total do requisito), (iii) escolher método de verificação de requisitos (15% do VA total do requisito), (iv) alocar requisito (20% do VA total do requisito), (v) verificar documento de requisitos (15% do VA total do requisito), (vi) verificar requisitos (15% do VA total do requisito). A soma do total do VA de todas as atividades é 100%.

Considerando um projeto que possui cinco componentes e 16 requisitos distribuídos entre esses componentes, a distribuição do orçamento utilizando a técnica de PBEV ficaria como exibido na Tabela 2.4.

No exemplo mostrado na Tabela 2.4, é possível ver como ficaria a linha base técnica do projeto. Os custos passariam a ser distribuídos em função da evolução das atividades de engenharia de requisitos, o que aumentaria a frequência do reporte das atividades e diminuiria a granularidade das atividades.

A Tabela 2.4 mostra o orçamento estimado em cada uma das seis atividades, citadas acima, para um conjunto de requisitos de um componente do projeto. Em um cronograma detalhado cada um desses requisitos teria um orçamento planejado e decomposto nas atividades exibidas na Tabela 2.4, facilitando assim o controle das atividades.

Tabela 2. 4 – Alocação do Orçamento do Projeto. Fonte: SOLOMON e YOUNG (2006)

Componentes	Número de Requisitos	Orçamento dos Requisitos	Definir Requisitos	Validar Requisitos	Escolher Método de Verificação	Alocar Requisitos	Verificar Documento de	Verificar
			15%	15%	15%	20%	15%	20%
Componente 1	3	240	36	36	36	40	36	40
Componente 2	1	80	12	12	12	16	12	16
Componente 3	2	160	24	24	24	32	24	32
Componente 4	1	80	12	12	12	16	12	16
Componente 5	9	720	108	108	108	144	108	144
Total	16	1280	192	192	192	256	192	256

Segundo SOLOMON (2002) essa técnica apoiou a implementação do CMM nível 3, do CMM nível 4 e do CMMI nível 5 na mesma empresa.

2.10 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, também, um conjunto de normas relacionadas ao GVA e o relacionamento que existe entre a norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 2007) com o CMMI (SEI, 2002).

Apresentou, ainda, os principais problemas encontrados na aplicação da técnica de GVA tradicional em projetos e um conjunto de soluções propostas para resolver os problemas encontrados. Essas propostas de melhorias e/ou de soluções para a técnica de GVA foram encontradas a partir de um mapeamento sistemático. Mais detalhes sobre esse mapeamento sistemático encontra-se no Anexo I dessa tese.

No próximo capítulo são apresentadas três diferentes propostas para calibrar a técnica de GVA com base em dados históricos de desempenho de custo e com base no histórico de qualidade dos projetos. Com o objetivo de reduzir a grande variação observada no IDC_{Acum} e aumentar a precisão e exatidão dos custos de projetos.

CAPÍTULO 3 - PROPOSTAS PARA CALIBRAÇÃO DA TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DE VALOR AGREGADO (GVA)

Este capítulo apresenta três propostas para calibração da técnica de GVA em uma organização, objeto dessa tese. Essa proposta para calibração consiste na integração de dados históricos de desempenho de custo e de qualidade à técnica de GVA, com o objetivo de fornecer projeções mais precisas de custo para a conclusão do projeto. As três versões das propostas de integração de dados históricos de desempenho de custo e de dados históricos de qualidade, bem como exemplos de uso dessas técnicas, são discutidos nesse capítulo.

3.1 Introdução

Embora a técnica de GVA seja utilizada por empresas de diversos setores (desenvolvimento de software, construção civil, aeroespacial, aeronáutica, entre outros), há mais de 35 anos, para prever resultados de prazo e de custo, muitos estudos tais como (CHRISTENSEN *et al.*, 1993; ZWIKAEEL, 2000; LIPKE, 2006a e HENDERSON e ZWIKAEEL, 2008), constataram vulnerabilidades nesta técnica, entre elas: (i) os dados de desempenho de custo nem sempre apresentam distribuição normal, o que dificulta a realização de projeções confiáveis; (ii) existe instabilidade dos indicadores de desempenho de custo no decorrer da execução dos projetos (CHRISTENSEN *et al.*, 1993; ZWIKAEEL, 2000; LIPKE, 2006a e HENDERSON e ZWIKAEEL, 2008); (iii) existe a tendência de piora no desempenho dos indicadores de custo quando os projetos se aproximam do término (HENDERSON e ZWIKAEEL, 2008; CHRISTENSEN *et al.*, 1993).

Este trabalho propõe três extensões da técnica de GVA, através da integração de dados históricos de desempenho de custos nas fases do ciclo de vida de projetos, e a

integração de dados históricos de qualidade, com o objetivo de melhorar a previsibilidade de custo dos projetos de software.

A seguir primeiramente duas propostas para calibrar a técnica de GVA, utilizando dados históricos de desempenho de custo de fases do ciclo de vida serão apresentadas na seção 3.2.

As propostas foram avaliadas através de um estudo de viabilidade, apresentado no Capítulo 4, e de um estudo de caso, apresentado no Capítulo 5.

3.2 Propostas para Calibração da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{DHC})

Conforme discutido no Capítulo 2, o Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) de uma fase do ciclo de vida, qualquer, interfere no IDC_{Acum} do projeto, ao iniciar a sua execução, influenciando a previsão da Estimativa No Término (ENT) do projeto.

Portanto, essa proposta pressupõe que: (i) fases do ciclo de vida distintas apresentam IDC_{Acum} distintos; (ii) que o IDC_{Acum} dos projetos varia em decorrência das fases em execução, das fases que foram executadas e das fases que ainda serão executadas no projeto; (iii) a empresa que vai utilizar a técnica proposta possui o histórico de desempenho de custo de outros projetos, das fases do modelo de ciclo de vida que serão utilizados no projeto atual.

Dessa forma, se for considerado que o Orçamento No Término (ONT) de um projeto não é mais viável, o gerente do projeto deve elaborar uma Estimativa No Término (ENT) prevista. Elaborar uma previsão de ENT, envolve a busca de estimativas ou prognósticos de condições e eventos futuros para o projeto, com base em informações e conhecimento disponíveis no momento da previsão. As informações sobre o desempenho do trabalho englobam o desempenho passado do projeto e quaisquer informações que possam impactá-lo no futuro.

Dados históricos do IDC_{Acum} das fases do ciclo de vida de um projeto que ainda serão executadas no projeto são informações que podem impactar o desempenho futuro do IDC_{Acum} do projeto, mas que, no entanto, não são utilizadas para fazer essas projeções. Explicando, se um projeto tem um IDC_{Acum} igual a 1,0, em um dado momento de sua execução, mas no entanto, ainda resta a execução de outra fase do ciclo de vida, que tem

IDC_{Acum} histórico igual a 1,5, por exemplo. Considerando que essa fase do ciclo de vida que ainda não foi executada tem um ONT correspondente a 50% do ONT do projeto, isso significa, que o IDC_{Acum} final do projeto, provavelmente será maior que o indicado no momento da medição atual, ou seja, ele será maior que 1.

Sendo assim, foram criadas duas propostas de utilização de dados históricos de custo, as quais serão descritas a seguir. Ambas propostas requerem a execução dos seguintes passos:

1. Coletar o Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) histórico das fases do ciclo de vida que serão utilizadas. O IDC_{Acum} histórico deve ser proveniente de diferentes projetos. Entretanto, esses projetos devem ser similares, ou seja, devem utilizar a mesma versão do processo, a mesma tecnologia, e devem ter tamanhos similares, por exemplo;
2. Calcular o novo indicador IDC_{Est} com base nos dados históricos de desempenho de custo.
3. Realizar a projeção da Estimativa No Término (ENT) utilizando o IDC_{Est} .

3.2.1 Utilização de Dados Históricos de Desempenho de Custo com Peso Para Cada Fase do Ciclo de Vida (Proposta 1)

O presente trabalho propõe a integração da técnica de GVA com dados históricos do IDC_{Acum} das fases do ciclo de vida que compõem o projeto.

Para isso é necessário o levantamento das seguintes informações das fases do ciclo de vida: (i) IDC_{Acum} histórico das fases do ciclo de vida; e (ii) peso (% de custo em relação ao Orçamento No Término (ONT)) de cada fase do ciclo de vida utilizado no projeto.

O IDC_{Acum} histórico das fases do ciclo de vida que ainda não foram executadas no projeto são importantes porque serão utilizados para prever o comportamento futuro do IDC_{Acum} do projeto, que é composto pelo IDC_{Acum} de cada fase do ciclo de vida. Como cada fase do ciclo de vida tem um percentual distinto de custo alocado para ela, os quais têm influência na composição do IDC_{Acum} do projeto, decidiu-se atribuir um peso de 0 a 1 (onde 1 corresponde a 100%) para cada fase que compõe o projeto, sendo que a soma de todas as fases executadas, em execução ou a executar devem somar 1.

A utilização de um peso na equação deve-se ao fato de que fases do ciclo de vida com o mesmo IDC_{Acum} , mas com diferentes orçamentos, terem diferentes influências no IDC_{Acum} final do projeto. Considere, por exemplo, o cenário 1 relativo a um projeto fictício composto por quatro fases. Esse projeto possuía as seguintes fases para o ciclo de vida: (i) Análise, (ii) Solução Técnica, (iii) Implementação e (iv) Verificação, e teve valor total orçado em R\$ 100.000,00. O Valor Planejado Acumulado (VP_{Acum}), o Custo Real Acumulado (CR_{Acum}), o Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum}) e o IDC_{Acum} de cada fase do ciclo de vida, no final da execução do projeto, são conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Projeto Fictício, Cenário 1

Fases	VP_{Acum}	VA_{Acum}	CR_{Acum}	IDC_{Acum}
Análise	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	1
Solução Técnica	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 8.333,00	1,2
Implementação	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00	1
Verificação	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	1

Para esse cenário, tem-se o seguinte IDC_{Acum} para o projeto:

$$IDC_{Acum} = \frac{VA_{Acum}}{CR_{Acum}} = \frac{10.000+10.000+70.000+10.000}{10.000+8.333+70.000+10.000} = \frac{100.000}{98.333} = 1,0169$$

Considere agora um segundo cenário, similar ao primeiro, com o mesmo valor orçado para o projeto, com os mesmos orçamentos para as fases do ciclo de vida. Entretanto, nesse segundo cenário, o IDC_{Acum} da fase de Implementação é igual a 1,2, e o IDC_{Acum} da fase de Solução Técnica é de 1, ou seja, o desempenho dessas 2 fases mudou, conforme indicado na Tabela 3.2. Note que a fase com IDC_{Acum} igual 1,2 é o que possui 70% do orçamento do projeto. Nesse novo cenário tem-se o seguinte IDC_{Acum} para o projeto:

$$IDC_{Acum} = \frac{VA_{Acum}}{CR_{Acum}} = \frac{10.000+10.000+70.000+10.000}{10.000+10.000+58.333+10.000} = \frac{100.000}{88.333} = 1,132$$

Tabela 3.2 – Projeto Fictício, Cenário 2

Fases	VP _{Acum}	VA _{Acum}	CR _{Acum}	IDC _{Acum}
Análise	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	1
Solução Técnica	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	1
Implementação	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00	R\$ 58.333,00	1,2
Verificação	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	1

Com os exemplos dos dois cenários apresentados acima, pode-se notar que o IDC_{Acum} de uma fase com orçamento maior, exerce maior influência sobre o IDC_{Acum} do projeto. Nos exemplos apresentados, dado que o IDC_{Acum} da fase de Implementação (que corresponde a 70% do orçamento total do projeto) foi maior (cenário 2, IDC_{Implementação} = 1,2), o IDC_{Acum} do projeto também foi maior (IDC_{Final} = 1,132) em relação ao cenário 1. No cenário 1 a fase Solução Técnica tinha o IDC_{Sol.Téc.} = 1,2. Entretanto, o seu orçamento correspondia a 10% do projeto, e assim, o IDC_{Final} do projeto foi 1,01, ou seja, menor que o do cenário 2, conforme ilustra a Figura 3.1.

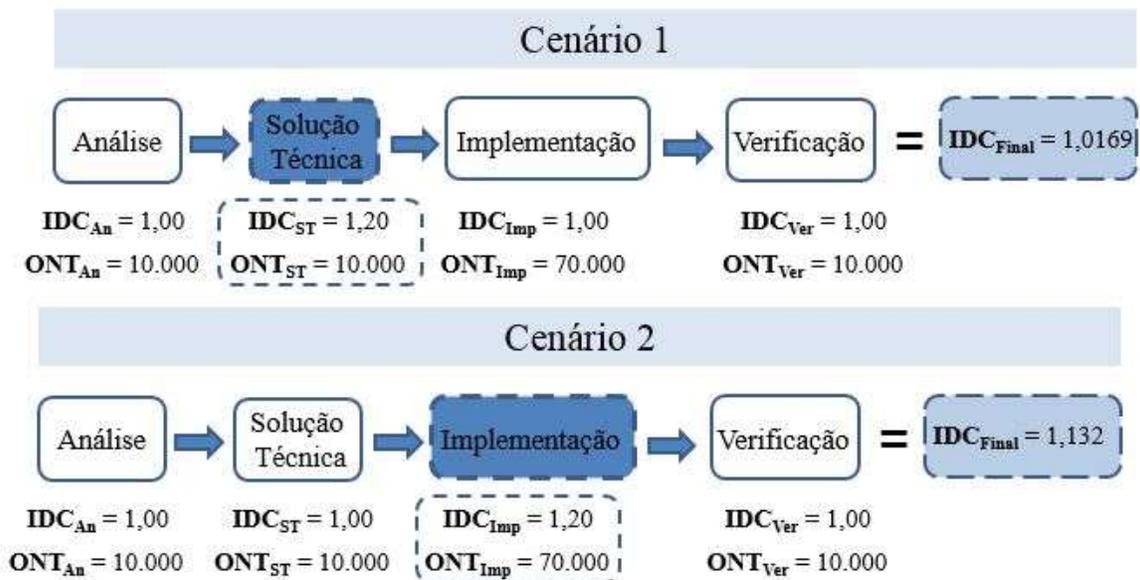


Figura 3. 1 – Resumo dos dois Cenários Discutidos para Justificar o Uso de um Peso na Proposta de Evolução da Técnica de GVA

Considerando os dois cenários apresentados, nota-se a necessidade de utilizar algum mecanismo que aumente a influência de uma fase do ciclo de vida de maior

orçamento do projeto, para que o seu IDC_{Acum} tenha maior influência no IDC_{Acum} do projeto.

A seguir a primeira proposta da técnica será apresentada, considerando a utilização de um peso na equação, para corrigir o IDC_{Acum} da fase do ciclo de vida e, logo em seguida, um exemplo de uso da primeira proposta será discutido.

3.2.1.1 Proposta de Equação para Estimar o IDC_{Est} Projetado para o Final do Projeto

Dado o IDC_{Acum} histórico das fases do ciclo de vida que compõem o projeto e os seus respectivos pesos, pode-se utilizar a equação (11) que representa o IDC_{Acum} projetado para o final do projeto:

$$IDC_{Est} = (IDC_{Acum} * PESO_{Acum} + \sum_1^N IDC_{HistFaseN} * Peso_{FaseN}) \quad (11)$$

Onde:

- **IDC_{Est} :** representa o Indicador de Desempenho de Custo Acumulado (IDC_{Acum}) estimado para o final da execução do projeto, e que será utilizado para realizar as projeções de custo para a ENT;
- **IDC_{Acum} :** representa o IDC_{Acum} calculado normalmente, com a equação tradicional de GVA (VA_{Acum} / CR_{Acum}), até uma determinada data;
- **$PESO_{Acum}$:** representa o percentual do projeto já executado. No final da execução do projeto o $PESO_{Acum}$ será igual a 1, e durante a execução do projeto, a soma do $PESO_{Acum}$ com o Peso de cada uma das fases (Fase01(F01) a FaseN(FN)), também deve ser igual a 1. O $PESO_{Acum}$ pode ser calculado pela equação (12):

$$PESO_{Acum} = \frac{VA_{AcumProjeto}}{ONT_{Projeto}} \quad (12)$$

Onde:

- **$VA_{AcumProjeto}$:** representa o custo orçado do trabalho realizado do projeto até uma determinada data (é o mesmo VA_{Acum} da técnica tradicional);
- **$ONT_{Projeto}$:** representa o Orçamento No Término (ONT) calculado no início do projeto;

- **IDC_{HistFN}**: representa o IDC_{Acum} real de uma determinada fase do ciclo de vida, medido após a sua execução. Deve-se utilizar o IDC_{Acum} médio (média aritmética) de cada fase específica, e que foi executada diversas vezes, em diversos projetos. Esse IDC_{Acum} histórico é uma informação organizacional, e portanto, poderá ser utilizada em qualquer projeto que utilize uma fase do ciclo de vida que tenha o IDC_{Acum} histórico disponível.
- **Peso_{FN}**: indica o quanto a fase do ciclo de vida representa do custo total do projeto e pode ser calculado através da equação (13):

$$\text{Peso}_{FN} = \frac{(\text{ONT}_{FN} - \text{VAAcum}_{FN})}{\text{ONT Projeto}} \quad (13)$$

Onde:

- **ONT_{FN}**: representa o Orçamento No Término (ONT) para a execução de uma determinada fase, e é dado pela equação (14):

$$\text{ONT}_{FN} = \sum \text{VP}_{\text{AcumFN}} \quad (14)$$

Onde:

- **VP_{AcumFN}**: Representa o VP acumulado de todas as atividades de uma determinada fase do ciclo de vida;
- **VAAcum_{FN}**: representa o custo orçado do trabalho realizado acumulado para a execução de uma fase do ciclo de vida até uma determinada data;

E finalmente substituindo (12) e (13) em (11) temos a equação final (15) proposta:

$$\text{IDC}_{\text{Est}} = \left(\text{IDC}_{\text{Acum}} * \frac{\text{VAAcum}}{\text{ONT Projeto}} + \sum_{\mathbf{1}}^N \text{IDC}_{\text{HistFN}} * \frac{(\text{ONT}_{FN} - \text{VAAcum}_{FN})}{\text{ONT Projeto}} \right) \quad (15)$$

A seguir um exemplo de uso da técnica será apresentado e discutido.

3.2.1.2 Exemplo de Uso

Para exemplificar a utilização da técnica proposta nessa seção e a aplicação de suas equações, é utilizado o exemplo de um projeto. Nesse exemplo estão descritos cada um dos passos para a utilização da técnica proposta.

Passo 1: Coletar IDC_{Acum} das Fases do Ciclo de Vida, em Projetos já Finalizados

Considere que uma empresa está executando um projeto, e que ela utiliza sempre um ciclo de vida com três fases: (i) Análise, (ii) Implementação e (iii) Verificação, e que mantém o IDC_{Acum} histórico dessas fases.

Sendo assim o primeiro passo para a utilização da técnica proposta é a coleta dos dados do IDC_{Acum} dessas fases. Considerando que essas fases tiveram o IDC_{Acum} em outros projetos conforme os valores exibidos na Tabela 3.3, a linha média desta tabela é o valor histórico que será utilizado pela equação no próximo passo.

Tabela 3.3 – Dados Históricos do IDC_{Acum} Acumulado das Fases do Ciclo de Vida

Projetos	IDC_{Acum} Análise	IDC_{Acum} Implementação	IDC_{Acum} Verificação
Projeto 01	1,12	1,6	0,6
Projeto 02	1,25	1,8	0,75
Projeto 03	1,4	1,3	0,9
Projeto 04	0,8	1,9	0,8
Projeto 05	0,9	2	0,67
Projeto 06	1,2	1,45	0,74
Projeto 07	1,1	1,3	0,86
Projeto 08	0,9	1,7	0,78
Projeto 09	0,93	1,65	0,68
Projeto 10	1,23	1,8	0,7
Média	1,083	1,65	0,748
Desvio Padrão	0,193	0,240	0,091

Recomenda-se que sejam utilizados dados das fases do ciclo de vida de projetos similares, ou seja, de projetos que utilizavam pelo menos: (i) a mesma linguagem de programação, e que (ii) possuíam as mesmas versões das fases do ciclo de vida. Dessa

maneira pode-se esperar que os dados históricos das fases do ciclo de vida sejam mais homogêneos.

Passo 2: Utilizar IDC_{Acum} das Fases do Ciclo de Vida para Calcular Novo $IDC_{Estimado}$

Considere, que o projeto que será utilizado para exemplificar o uso da técnica proposta, possui orçamento previsto/executado, conforme a Figura 3.2. Essa figura exhibe as fases do ciclo de vida, as entregas, as atividades do projeto, e os respectivos VP_{Acum} , ONT (do projeto e individualmente das fases do ciclo de vida), CR_{Acum} , IDC_{Acum} e o percentual executado (% Executado) do projeto.

	Nome da tarefa	VP Acum	ONT	CR Acum	VA Acum	IDC Acum	% Executado
	▾ Projeto Teste	R\$ 240,00	R\$ 1.000,00	R\$ 280,00	R\$ 200,00	0,71	20%
✓	▾ Análise	R\$ 200,00	R\$ 200,00	R\$ 280,00	R\$ 200,00	0,71	100%
✓	▾ Documento de Requisitos	R\$ 200,00	R\$ 200,00	R\$ 280,00	R\$ 200,00	0,71	100%
✓	▾ Elaborar DRE	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 130,00	R\$ 100,00	0,77	100%
✓	▾ Revisar DRE	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 150,00	R\$ 100,00	0,67	100%
	▾ Implementação	R\$ 40,00	R\$ 400,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Release 01	R\$ 40,00	R\$ 200,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Implementar RF01	R\$ 40,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Implementar RF02	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Release 02	R\$ 0,00	R\$ 200,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Implementar RF03	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Implementar RF04	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Verificação	R\$ 0,00	R\$ 400,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Release 01	R\$ 0,00	R\$ 200,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Testar RF01	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Testar RF02	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Release 02	R\$ 0,00	R\$ 200,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Testar RF03	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
	▾ Testar RF04	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%

Figura 3. 2 – Dados do Projeto Exemplo de Aplicação da Técnica Proposta

A Tabela 3.4 mostra as medidas tradicionais da técnica de GVA extraídas do projeto exibido na Figura 3.2. Todas essas medidas podem ser calculadas automaticamente pela maioria das ferramentas de gerenciamento de projetos.

Tabela 3.4 – Medidas Tradicionais da Técnica de GVA, Extraídas do Projeto Exibido na Figura 3.2

Medidas	Valor	Posição na Figura 3.2
Orçamento No Término (ONT)	R\$ 1.000,00	Linha 1, Coluna ONT
Valor Planejado (VP_{Acum})	R\$ 240,00	Linha 01, Coluna VP_{Acum}
Valor Agregado (VA_{Acum})	R\$ 200,00	Linha 1, Coluna VA_{Acum}
Custo Real (CR_{Acum})	R\$ 280,00	Linha 1, Coluna CR_{Acum}
Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum})	0,71	Linha 1, Coluna IDC_{Acum}
% Executado do Projeto	20%	Linha 1, Coluna % Executado

Para ilustrar o exemplo da Figura 3.2 foi utilizada a ferramenta MS Project versão 2013. O cálculo das medidas apresentados nas Tabelas 3.4 e 3.5 também estão disponíveis em todas as versões comerciais do produto *MS Project*, *OpenProj*, *Primavera*, entre outros.

Algumas medidas das fases do ciclo de vida que serão utilizadas pela técnica proposta também podem ser extraídas do orçamento da Figura 3.2, porque podem ser calculadas automaticamente por muitas ferramentas de gerenciamento de projetos. Essas medidas são exibidas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Medidas da Técnica Proposta, Extraídas do Projeto Exibido na Figura 3.2

Medidas	Valor	Posição na Figura 3.2
Orçamento No Término Fase de Análise ($ONT_{Análise}$)	R\$ 200,00	Linha 2, Coluna ONT
Orçamento No Término Fase de Implementação ($ONT_{Implementação}$)	R\$ 400,00	Linha 6, Coluna ONT
Orçamento No Término Fase de Verificação ($ONT_{Verificação}$)	R\$ 400,00	Linha 13, Coluna ONT
Valor Agregado Fase de Análise ($VA_{Análise}$)	R\$ 200,00	Linha 2, Coluna VA_{Acum}
Valor Agregado Fase de Implementação ($VA_{Implementação}$)	R\$ 0,00	Linha 6, Coluna VA_{Acum}
Valor Agregado Fase de Verificação ($VA_{Verificação}$)	R\$ 0,00	Linha 13, Coluna VA_{Acum}

Tendo as medidas relacionadas ao projeto (Tabela 3.4 e Tabela 3.5) e as medidas das fases do ciclo de vida consideradas pela técnica proposta (Tabela 3.5) é possível calcular o IDC_{Est} . As equações de (11) a (15) serão utilizadas para o cálculo do IDC_{Est} .

$$IDC_{Est} = (IDC_{Acum} * \frac{VAAcum}{ONT \text{ Projeto}} + \sum_{i=1}^N IDC_{HistFN} * \frac{(ONTFN - VAAcumFN)}{ONT \text{ Projeto}})$$

Onde:

$$Peso_{Acum} = \frac{VAAcum}{ONT \text{ Projeto}}$$

$$Peso_{Acum} = \frac{200}{1.000} = 0,20$$

Onde:

$$Peso_{FN} = \frac{(ONTFN - VAAcumFN)}{ONT \text{ Projeto}}$$

Logo:

$$Peso_{Análise} = \frac{(ONTAnálise - VAAcumAnálise)}{ONT \text{ Projeto}}$$

$$Peso_{Análise} = \frac{(200 - 200)}{1.000} = 0,00$$

O valor do $Peso_{Análise}$ da fase de análise foi zero porque a fase já foi toda executada no exemplo dado. Sendo assim, o seu peso foi todo agregado ao $Peso_{Acum}$, que apresentou valor igual a 0,20. Os pesos das próximas fases serão calculados agora:

FaseImplementação:

$$Peso_{Implementação} = \frac{(ONTImplementação - VAIimplementação)}{ONT \text{ Projeto}}$$

$$Peso_{Implementação} = \frac{(400,00 - 0,00)}{1.000,00} = 0,40$$

FaseVerificação:

$$Peso_{Verificação} = \frac{(ONTVerificação - VAVerificação)}{ONT \text{ Projeto}}$$

$$Peso_{Verificação} = \frac{(400,00 - 0,00)}{1000} = 0,40$$

Conforme citado anteriormente, a soma dos pesos das fases executadas, em execução e a serem executadas ($Peso_{Acum} + Pes_{OP1} + Pes_{OP2} + \dots + Pes_{OPN}$) deve ser igual a 1.

Sendo assim:

$$\text{Peso}_{\text{Total}} = \text{Peso}_{\text{Acum}} + \text{Peso}_{\text{Análise}} + \text{Peso}_{\text{Implementação}} + \text{Peso}_{\text{Verificação}}$$

$$\text{Peso}_{\text{Total}} = 0,2 + 0,0 + 0,4 + 0,4 = 1$$

Utilizando os pesos das fases calculadas anteriormente, as medidas dos projetos e das fases do ciclo de vida que foram coletadas nas Tabela 3.4 e Tabela 3.5. Considerando ainda, que essa empresa possui dados históricos de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) de todas as fases do ciclo de vida, conforme Tabela 3.3 – Dados Históricos do IDC_{Acum} Acumulado das fases do ciclo de vida, conforme discutido na seção anterior. O IDC_{Est} do projeto pode ser calculado utilizando a equação proposta anteriormente:

$$\text{IDC}_{\text{Est}} = (\text{IDC}_{\text{Acum}} * \frac{\text{VAAcum}}{\text{ONT Projeto}} + \sum_{\mathbf{1}}^{\mathbf{N}} \text{IDC}_{\text{HistFN}} * \frac{(\text{ONTFN} - \text{VAAcumFN})}{\text{ONT Projeto}})$$

$$\text{IDC}_{\text{Est}} = (0,71 * 0,20 + 1,083 * 0,00 + 1,65 * 0,40 + 0,748 * 0,40) = 1,102$$

Passo 3: Fazer Projeção do ENT Utilizando $\text{IDC}_{\text{Estimado}}$

Após calcular o $\text{IDC}_{\text{Estimado}}$, é possível fazer a projeção da Estimativa No Término (ENT) utilizando o $\text{IDC}_{\text{Estimado}}$.

O $\text{IDC}_{\text{Estimado}}$ deve ser dividido pelo ONT para obter a ENT, utilizando a técnica proposta, como segue:

$$\text{ENT}_{\text{GVA HDC}} = \frac{\text{ONT}}{\text{IDCEst}}$$

$$\text{ENT}_{\text{GVA HDC}} = \frac{1.000}{1,102} = 907,44$$

A seguir é apresentado e discutido como a projeção de custo da Estimativa No Término (ENT) é feita, utilizando a técnica tradicional de GVA.

Passo 4: Projeção Através das Equações Tradicionais da Técnica de GVA presentes no PMBOK (PMI, 2013) e no *Guide To Earned Value Management* (PMI, 2011)

Conforme discutido no capítulo 2, a técnica tradicional de GVA apresentada no PMBOK (PMI, 2013) e no *Guide to Earned Value Management* (PMI, 2011) apresenta três maneiras distintas de se calcular a Estimativa No Término (ENT):

- A primeira delas considera que o trabalho restante será executado no ritmo orçado, ou seja, a premissa utilizada nesse caso é que independente do IDC_{Acum} medido no momento, o IDC_{Acum} para o restante do projeto será igual a 1. O ENT, nessas circunstâncias, é dado pela seguinte equação (PMI, 2013):

$$ENT_{GVA\ Trad.} = CR_{Acum} + ONT - VA_{Acum}$$

Nessas condições, utilizando o projeto fictício, e considerando os dados da Tabela 3.5 teria-se o seguinte ENT:

$$ENT_{GVA\ Trad.} = 280,00 + 1.000,00 - 200,00 = 1.080,00$$

- A segunda maneira de se calcular o ENT considera os indicadores de custo e de prazo (IDP_{Acum} e IDC_{Acum}). Variações deste método pesam o IDC_{Acum} e o IDP_{Acum} utilizando critérios diferentes (por exemplo, 80/20, 60/40 ou outra proporção), de acordo com o julgamento do gerente do projeto. O ENT, nessas circunstâncias, é dado pela seguinte equação (PMI, 2013):

$$ENT_{GVA\ Trad.} = CR_{Acum} + \frac{(ONT - VA_{Acum})}{(IDC_{Acum} \times IDP_{Acum})}$$

Nessas condições, utilizando o projeto fictício, e considerando os dados da Tabela 3.5 teria-se o seguinte ENT:

$$ENT_{GVA\ Trad.} = 280,00 + [(1.000,00 - 200,00) / (0,71 * 0,833)] = 1.635,93$$

- Por fim, a maneira mais comum de se calcular o ENT considera que a tendência é que o Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) do projeto permaneça como o acumulado até a data da medição. O ENT nessas circunstâncias é dado pela seguinte equação (PMI, 2013):

$$ENT_{GVA\ Trad.} = \frac{ONT}{IDC_{Acum}}$$

Nessas condições, utilizando o projeto fictício, e considerando os dados da Tabela 3.5 teria-se o seguinte ENT:

$$ENT_{GVA\ Trad.} = 1.000,00 / 0,71 = 1.408,45$$

O exemplo dado anteriormente não permite afirmar se a técnica proposta é capaz de oferecer maior precisão e exatidão em relação à técnica tradicional. Dessa forma, para avaliar qual técnica fornece o melhor resultado (menor erro em relação ao custo final do projeto e menor variação nas estimativas), diversos testes de viabilidade foram conduzidos e os resultados são apresentados no Capítulo 4. Um estudo de caso com projetos reais também foi conduzido com o mesmo propósito e os resultados são apresentados no Capítulo 5.

Esta versão da proposta foi apresentada e publicada como um artigo completo (Souza, 2012a) e como um resumo de um artigo (Souza, 2012b) no *Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE) 2012* e sua validação com estudo de caso como um resumo no *Student Competition* da ACM no *International Conference on Software Engineering (ICSE) 2013*.

3.2.1.3 Problemas com a Primeira Proposta de Calibração do Indicador de Desempenho de Custo Acumulado (IDC_{Acum})

A equação proposta na seção anterior utiliza dados históricos do IDC_{Acum} e um peso para cada fase do ciclo de vida que compõe o projeto. Para justificar o uso de um Peso para dar maior influência de uma fase do ciclo de vida sobre outra, dois exemplos do cálculo do IDC_{Acum} foram apresentados na seção 3.2.1.2. Em ambos os cenários ou exemplos, o projeto era composto por quatro fases, nas quais três fases tinham orçamento equivalente a 10% do Orçamento No Término (ONT) e uma fase tinha orçamento equivalente a 70% do ONT. O exemplo dado na seção 3.2.1.2 consistia na atribuição do IDC_{Acum} de 1,2 primeiramente para uma das fases cujo VP_{Acum} era igual a 10% do ONT do projeto e, posteriormente, atribuir o IDC_{Acum} de 1,2 para a fase cujo VP_{Acum} era igual a 70% do ONT do projeto. O resultado final do IDC_{Acum} ao final do cenário um era menor que o IDC_{Acum} do cenário dois, justificando o uso de um peso na equação para dar maior influência à fase do ciclo de vida cujo VP_{Acum} fosse maior.

Entretanto, uma questão levantada durante a condução das pesquisas foi se a atribuição de peso na equação proposta na seção anterior era a solução mais adequada ao problema. Para avaliar essa questão foi elaborado um terceiro cenário com o intuito de

avaliar a técnica proposta. Nesse terceiro cenário tem-se um projeto com a fase de Análise já executada e com os dados previstos segundo a Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Projeto Fictício, Cenário 3

Fases	VP _{Acum}	VA _{Acum}	CR _{Acum}	IDC _{Acum}
Análise	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 9.233,61	1,083
Implementação	R\$ 80.000,00	<i>Não Disponível</i>	<i>Não Disponível</i>	<i>Não Disponível</i>
Verificação	R\$ 10.000,00	<i>Não Disponível</i>	<i>Não Disponível</i>	<i>Não Disponível</i>

Se o IDC_{Acum} do projeto do cenário 3, for calculado utilizando os dados históricos do IDC_{Acum} das fases do ciclo de vida da Tabela 3.3 (linha média), tem-se o seguinte:

$$IDC_{Est} = (IDC_{Acum} * \frac{VA_{Acum}}{ONT \text{ Projeto}} + \sum_1^N IDC_{HistFN} * \frac{(ONTFN - VA_{Acum}FN)}{ONT \text{ Projeto}})$$

$$IDC_{Est} = (1,083 * \frac{10.000}{100.000} + 1,65 * \frac{(80.000 - 0)}{100.000} + 0,748 * \frac{(10.000 - 0)}{100.000})$$

$$IDC_{Est} = 0,1083 + 1,32 + 0,0748$$

$$IDC_{Est} = 1,5031$$

Se esse projeto fosse executado e os valores reais do IDC_{Acum} correspondessem exatamente aos valores históricos previstos e utilizados na equação acima, o IDC_{Acum} final deveria ser igual ao IDC_{Est} em qualquer momento do projeto e o peso proposto estaria correto para a equação. Se o projeto for executado e as fases do ciclo de vida se comportarem conforme o histórico previsto na Tabela 3.3, os dados de CR_{Acum} e o IDC_{Acum} de cada fase seriam como os exibidos na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Projeto Fictício, Cenário 3

Fases	VP _{Acum}	VA _{Acum}	CR _{Acum}	IDC _{Acum} / Hist
Análise	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 9.233,61	1,083
Implementação	R\$ 80.000,00	R\$ 80.000,00	R\$ 48.484,84	1,65 [Histórico]
Verificação	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 13.368,98	0,748 [Histórico]

Sendo assim, se o IDC_{Acum} for calculado para esse projeto nas circunstâncias apresentadas, tem-se:

$$IDC_{Acum} = \frac{VAAcum}{CRAcum}$$

$$IDC_{Acum} = \frac{(10.000+80.000+10.000)}{(9.233,61+48.484,84+13.368,98)} = \frac{100.000}{71.087,43} = 1,4067$$

O fato do IDC_{Acum} ser diferente do IDC_{Est} significa que o peso não foi eficiente para prever o IDC_{Acum} final do projeto quando as fases do ciclo de vida se comportam exatamente conforme o previsto. No cenário apresentado o erro da técnica proposta que utiliza o peso na equação foi de 6,85%. Em simulações feitas com a técnica proposta, notou-se que quanto menor a diferença entre os IDC acumulados das fases do ciclo de vida, menor será o erro.

Vale destacar que o cenário 3 apresentou fases com uma grande diferença entre os seus IDC_{Acum} . A diferença entre o IDC_{Acum} histórico da fase de Implementação e da fase de Verificação foi de 220% (segundo a Tabela 3.3, o IDC_{Acum} histórico da fase de Verificação foi de 0,748 e a fase de Implementação foi de 1,65), sendo assim, esse cenário apresenta o pior cenário para a técnica proposta. O estudo de caso apresentado no Capítulo 5 apresentou diferença entre os IDC's históricos das fases do ciclo de vida, inferiores a 25%, o que geraria um erro muito inferior ao apresentado acima.

Uma nova equação, que corrige o problema apresentado, é proposta na próxima seção.

3.2.2 Calibração da Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVADHC) – Segunda Proposta

Tendo em vista que a primeira proposta apresentou um erro ao utilizar um peso na equação proposta para calibração da técnica de GVA, uma segunda proposta, que também utiliza dados históricos de desempenho de custo, foi elaborada.

Assim como na primeira proposta, essa segunda proposta requer a coleta de dados históricos de desempenho de custo das fases de ciclo de vida, ou seja, requer os mesmos passos apresentados na seção anterior para ser aplicada.

Para sanar o problema apresentado pela equação anterior, a nova proposta utiliza, novamente, dados das fases de ciclo de vida já executadas. Entretanto, para as fases do ciclo de vida que estão em execução e para as que ainda serão executadas, será utilizada uma abordagem alternativa ao uso do peso. Essa alternativa consiste no cálculo de uma nova medida chamada Custo Real Previsto da Fase do Ciclo de Vida ($CR_{\text{PrevistoFN}}$).

O Custo Real Previsto da Fase ($CR_{\text{PrevistoFN}}$) é calculado com base na equação tradicional do IDC_{Acum} . Entretanto, utiliza o IDC_{Acum} Histórico da fase do ciclo de vida para calcular o CR_{Previsto} das fases em execução e que ainda serão executadas.

A equação tradicional do IDC_{Acum} é dada pela divisão do VA_{Acum} pelo CR_{Acum} . Como nessa segunda proposta o IDC_{Acum} Histórico da fase do ciclo de vida já é conhecido e o VA_{Acum} da fase do ciclo de vida no final de sua execução, é igual ao seu ONT_{FN} . Logo o CR_{Acum} da equação pode ser substituído pelo $CR_{\text{Previsto FN}}$ e o VA_{Acum} pode ser substituído pelo ONT_{FN} . Assim, é possível obter o $CR_{\text{Previsto FN}}$ pela equação (16):

$$CR_{\text{Previsto FN}} = \frac{ONT_{\text{FN}}}{IDC_{\text{Histórico FN}}} \quad (16)$$

A primeira proposta apresentada na seção anterior utilizava dados de custo das fases do ciclo de vida já executadas, das fases em execução e das fases que ainda serão executadas para compor um IDC_{Acum} final.

O problema apresentado pela primeira versão da técnica ocorreu porque ela propunha o cálculo de um IDC_{Acum} para as fases executadas e a sua soma com o IDC_{Acum} Fase de cada uma das fases em execução e a serem executadas, através de uma média ponderada, representada pelo peso de cada fase. Ou seja, basicamente a equação fazia uma soma dos IDC_{Acum} de cada fase do ciclo de vida, individualmente, compondo assim um IDC_{Previsto} .

Entretanto, como visto no Capítulo 2, para calcular o IDC_{Acum} utilizando a técnica tradicional deve-se dividir o VA_{Acum} de cada elemento do cronograma ou da EAP pelo seu respectivo CR_{Acum} . Sendo assim, a segunda proposta considera os valores de VA_{Acum} e os valores de CR_{Acum} das fases em execução e já executadas, além do $CR_{\text{Previsto FN}}$ para as fases que ainda não foram executadas. Entretanto, agora, ao contrário da primeira proposta, a equação calcula apenas um único IDC_{Acum} , considerando os dados de VA_{Acum} e CR_{Acum} de todas as fases como na equação (17):

$$IDC_{Prev} = \frac{VA_{Acum\ Projeto} + \sum_1^N(ONT_{FN} - VA_{Acum\ FN}) + \sum_1^N ONT_{FN}}{CR_{Acum\ Projeto} + \sum_1^N(CR_{Previsto\ FN} - CR_{Acum\ FN}) + \sum_1^N(CR_{Previsto\ FN})} \quad (17)$$

Onde:

- O $VA_{AcumProjeto}$ e o $CR_{AcumProjeto}$ representam as medidas relacionadas às fases que já foram executadas ou às porções já executadas das fases que estão em execução (uma fase que está em execução terá sempre uma parte executada e uma parte a ser executada):
 - **$VA_{AcumProjeto}$** : representa o valor orçado do trabalho realizado do projeto até a data atual. O VA_{Acum} pode ser calculado utilizando a técnica tradicional GVA;
 - **$CR_{AcumProjeto}$** : representa o custo real acumulado e, também, pode ser calculado utilizando a técnica tradicional de GVA.
- Os somatórios de $(ONT_{FN} - VA_{AcumFN})$ e $(CR_{PrevistoFN} - CR_{AcumFN})$ representam, respectivamente a porção prevista para ser executada (VA_{Acum}), e o Custo Real Acumulado (CR_{Acum}) restante, das fases que estão em execução, sendo que:
 - **$\sum_1^N(ONT_{FN} - VA_{AcumFN})$** : Como no final da execução de um projeto, ou de um elemento qualquer da Estrutura Analítica de Projeto (EAP) o Orçamento no Término (ONT) é igual ao VA_{Acum} , essa parte da equação representa a porção do VA_{AcumFN} que resta para ser executada, entre as fases que estão em execução;
 - **$\sum_1^N(CR_{Previsto\ FN} - CR_{AcumFN})$** : Esse somatório representa o custo esperado para concluir a porção não executada das fases que estão em execução. O $CR_{PrevistoFN}$ representa o custo previsto de cada fase e pode ser calculado utilizando os dados históricos de desempenho de custo das fases, através da equação (16) apresentada nessa seção.
- Por fim os somatórios de ONT_{FN} e de $CR_{PrevistoFN}$ representam as fases do ciclo de vida que ainda não foram executadas, sendo que:
 - **$\sum_1^N ONT_{FN}$** : representa a soma do Orçamento No Término (ONT) das fases que ainda não foram executadas no projeto;
 - **$\sum_1^N(CR_{Previsto\ FN})$** : representa a soma dos custos previstos das fases que ainda não foram executadas. O $CR_{Previsto}$ das fases pode ser calculado

utilizando os dados históricos de desempenho de custo das fases, através da equação (16) apresentada nessa seção.

Para exemplificar o uso da segunda proposta de calibração da técnica de GVA utilizando dados históricos de desempenho de custo, será utilizado um exemplo similar ao da seção anterior.

3.2.2.1 Exemplo de Aplicação da Primeira Proposta de Calibração da Técnica de GVA com dados Históricos de Desempenho de Custo Revisada

Para exemplificar o uso da técnica será considerado o mesmo projeto apresentado no exemplo da seção anterior. Esse projeto é composto por três fases de ciclo de vida, (Análise, Implementação e Verificação) como exemplificado na Figura 3.3. Entretanto, ao contrário do exemplo anterior, esse projeto está com a fase de Implementação em execução, como mostra a Figura 3.3.

Nome da tarefa	VP Acum	ONT	CR Acum	VA Acum	IDC Acum	% Executado
▲ Projeto Teste	R\$ 320,00	R\$ 1.000,00	R\$ 380,00	R\$ 300,00	0,79	30%
▲ Análise	R\$ 200,00	R\$ 200,00	R\$ 280,00	R\$ 200,00	0,71	100%
▲ Documento de Requisitos	R\$ 200,00	R\$ 200,00	R\$ 280,00	R\$ 200,00	0,71	100%
Elaborar DRE	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 130,00	R\$ 100,00	0,77	100%
Revisar DRE	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 150,00	R\$ 100,00	0,67	100%
▲ Implementação	R\$ 120,00	R\$ 400,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00	1	25%
▲ Release 01	R\$ 120,00	R\$ 200,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00	1	50%
Implementar RF01	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00	1	100%
Implementar RF02	R\$ 20,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
▲ Release 02	R\$ 0,00	R\$ 200,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
Implementar RF03	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
Implementar RF04	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
▲ Verificação	R\$ 0,00	R\$ 400,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
▲ Release 01	R\$ 0,00	R\$ 200,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
Testar RF01	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
Testar RF02	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
▲ Release 02	R\$ 0,00	R\$ 200,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
Testar RF03	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%
Testar RF04	R\$ 0,00	R\$ 100,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0	0%

Figura 3. 3 –Exemplo de Aplicação da Técnica Proposta em um Projeto

A Tabela 3.8 mostra as medidas tradicionais de GVA do projeto, que serão utilizados como exemplo. Todas as medidas exibidas na Tabela 3.8 normalmente são calculadas automaticamente pela maioria das ferramentas de gerenciamento de projetos. Para ilustrar o exemplo da Figura 3.3 foi utilizada a ferramenta *MS Project* versão 2013.

Tabela 3.8 – Medidas Tradicionais da Técnica de GVA, Extraídas do Projeto Exibido na Figura 3.3

Medidas	Valor	Posição na Figura 3.3
Orçamento No Término (ONT)	R\$ 1.000,00	Linha 1, Coluna ONT
Valor Planejado (VP_{Acum})	R\$ 320,00	Linha 01, Coluna VP _{Acum}
Valor Agregado (VA_{Acum})	R\$ 300,00	Linha 1, Coluna VA _{Acum}
Custo Real Acumulado (CR_{Acum})	R\$ 380,00	Linha 1, Coluna CR _{Acum}
Custo Real Acumulado Fase de Implementação (CR_{Acum})	R\$ 100,00	Linha 8, Coluna CR _{Acum}

O cálculo das medidas apresentadas nas Tabela 3.8 e 3.10 também estão disponíveis em todas as versões comerciais do produto *MS Project*, *OpenProj* ou *Primavera*.

Outras medidas utilizadas na técnica proposta também podem ser extraídas da Figura 3.3, porque podem ser calculadas automaticamente por muitas ferramentas de gerenciamento de projetos. Essas medidas são exibidas na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Medidas da Técnica Proposta, Extraídas do Projeto Exibido na Figura 3.3

Medidas	Valor	Posição na Figura 3.3
Orçamento No Término Fase de Análise (ONT_{Análise})	R\$ 200,00	Linha 2, Coluna ONT
Orçamento No Término Fase de Implementação (ONT_{Implementação})	R\$ 400,00	Linha 6, Coluna ONT
Orçamento No Término Fase de Verificação (ONT_{Verificação})	R\$ 400,00	Linha 13, Coluna ONT
Valor Agregado Fase de Análise (VA_{Análise})	R\$ 200,00	Linha 2, Coluna VA _{Acum}
Valor Agregado Fase de Implementação (VA_{Implementação})	R\$ 100,00	Linha 6, Coluna VA _{Acum}
Valor Agregado Fase de Verificação (VA_{Verificação})	R\$ 0,00	Linha 13, Coluna VA _{Acum}

Tendo as medidas da técnica tradicional (Tabela 3.8) e as medidas das fases consideradas na técnica proposta (Tabela 3.9) é possível calcular o IDC_{Est}. As equações (16) e (17) serão utilizadas para o cálculo do IDC_{Est}.

$$\mathbf{IDC}_{\text{Prev}} = \frac{VAAcum\ Projeto + \sum_1^N(ONT\ FN - VAAcum\ FN) + \sum_1^N ONT\ FN}{CRAcum\ Projeto + \sum_1^N(CRPrevisto\ FN - CRAcum\ FN) + \sum_1^N(CRPrevisto\ FN)} \quad (17)$$

$$\mathbf{IDC}_{\text{Prev}} = \frac{VAAcum\ Projeto + \sum_1^N(ONT\ Impl. - VAAcum\ Impl.) + \sum_1^N ONT\ Verificação}{CRAcum\ Projeto + \sum_1^N(CRPrevisto\ Impl. - CRAcum\ Impl.) + \sum_1^N(CRPrevisto\ Verificação)}$$

Conforme a equação (16), o CR_{Previsto} pode ser calculado dividindo-se o ONT_{FN} da fase pelo seu IDC_{Acum} histórico. Conforme a Tabela 3.3 – Dados Históricos do IDC_{Acum} Acumulado das Fases, a fase de Implementação tem IDC_{Acum} Histórico no valor de 1,65, e a fase de Verificação tem IDC_{Acum} Histórico de 0,748. Já os dados de ONT das respectivas fases podem ser obtidas na Tabela 3.9 ou Figura 3.3. Logo aplicando a equação (17) tem-se:

$$CR_{\text{Previsto Implementação}} = \frac{ONT\ Implementação}{IDC\ Histórico\ Implementação}$$

$$CR_{\text{Previsto Implementação}} = \frac{400}{1,65} = 242,42$$

$$CR_{\text{Previsto Verificação}} = \frac{ONT\ Verificação}{IDC\ Histórico\ Verificação}$$

$$CR_{\text{Previsto Verificação}} = \frac{400}{0,748} = 534,75$$

Aplicando os valores de CR_{Previsto} das fases que estão em execução e das fases que ainda serão executadas tem-se:

$$\mathbf{IDC}_{\text{Prev}} = \frac{300 + (400 - 100) + 400}{380 + (242,42 - 100) + 534,75} = \frac{1.000,00}{1.057,17} = 0,9459$$

Assim como a primeira proposta que utilizava dados históricos de custo, essa equação também pode ser utilizada para prever o custo final do projeto, dividindo o IDC_{Prev} pelo ONT do projeto.

Essa técnica pode ser utilizada em projetos de software cujo principal componente de custo é o esforço proveniente da execução das atividades das fases do ciclo de vida.

3.2.2.2 Avaliação da Proposta 1 Revista

Como essa segunda proposta foi feita com o intuito de resolver o problema do peso atribuído às fases do ciclo de vida, que apresentou um erro no cálculo do IDC_{Acum} , o mesmo

procedimento que demonstrou o erro na primeira versão foi feito para essa nova versão da técnica.

Considerando que o projeto apresentado no exemplo anterior, foi executado e apresentou exatamente os mesmos valores históricos do IDC_{Acum} para suas respectivas fases, então os valores CR_{Acum} das fases deveriam ser como os exibidos na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Medidas das Fases

Fases	VP_{Acum}	VA_{Acum}	CR_{Acum}	$IDC_{Acum} / Hist$
Análise	R\$ 200,00	R\$ 200,00	R\$ 184,67	1,083
Implementação	R\$ 400,00	R\$ 400,00	R\$ 242,42	1,65
Verificação	R\$ 400,00	R\$ 400,00	R\$ 534,76	0,748

Aplicando-se a equação (17) para esse exemplo, tem-se:

$$IDC_{Prev} = \frac{300 + (400 - 100) + 400}{380 + (242,42 - 100) + 534,75} = \frac{1.000,00}{1.057,17} = 0,9459$$

A aplicação da equação (17) apresentou o resultado previsto na seção anterior. Portanto, há evidências de que a nova proposta corrige o problema apresentado pela primeira proposta. Entretanto, assim como a proposta anterior, não é possível afirmar que essa nova proposta apresenta resultados melhores do que a técnica tradicional. Essa avaliação será mostrada nos Capítulos 4 e 5 através de diferentes estudos de caso realizados.

A seguir uma segunda proposta, neste caso com a integração de dados históricos de qualidade para a calibração da técnica GVA será apresentada.

Essa proposta revisada foi apresentada e publicada como artigo completo (Souza, 2014b) no *Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE)* 2014 e na ocasião foi considerado o *Best Paper* e convidado para publicar uma versão estendida do artigo em uma edição especial do *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering (IJSEKE)*.

3.3 Motivação e Premissas para a Proposta de Integração de Dados de Qualidade à Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA)

Segundo SOLOMON (2005), 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 (VA_{Acum}) reportado baseia-se nas medidas de qualidade do produto, como definido pelos padrões e modelos de engenharia de software (SOLOMON, 2005).

Isso ocorre, porque a técnica de GVA estabelece que o VA_{Acum} é uma medida da quantidade de trabalho realizado e que a qualidade do trabalho realizado é controlada por outros processos (SOLOMON, 2005).

Um estudo conduzido por SOLOMON (2005) com diversos projetos que utilizavam a técnica *Source Line of Code* (SLOC) para estimar o tamanho, o orçamento e o Valor Agregado (VA) de projetos de software, reportou erros significativos nessas estimativas durante a execução dos projetos. Esses erros envolviam, quase sempre, o aumento significativo no SLOC estimado anteriormente, o que fazia com que a medida do VA_{Acum} se tornasse altamente volátil. Uma consequência dessa volatilidade aparecia quando essas novas estimativas eram utilizadas pela primeira vez e um “progresso” e “valor agregado” negativos eram reportados.

Entre as possíveis soluções identificadas para esses problemas estavam: (i) o planejamento e o monitoramento do progresso das atividades relacionadas a retrabalho no projeto e (ii) o planejamento e o acompanhamento dos defeitos e do retrabalho no projeto (SOLOMON, 2005).

Dessa forma seria possível ao gerente de projetos garantir que o VA_{Acum} , também, medisse a qualidade do produto e a maturidade técnica dos produtos de trabalho em evolução, em vez de ser apenas uma medida da quantidade de trabalho realizado (SOLOMON, 2005).

A proposta agora apresentada provê um conjunto de medidas relacionadas ao planejamento e monitoramento e controle do retrabalho relacionado aos defeitos encontrados nas fases do ciclo de vida que compõem o projeto. Essas medidas serão integradas ao GVA tradicional.

A literatura utiliza um amplo conjunto de termos para definir os conceitos de falhas ou anomalias de software

Entretanto, de acordo com IEEE 1044-2009 (2010) as anomalias de software podem ser classificadas como: (i) defeitos, (ii) erros, (iii) falhas, (iv) faltas ou (v) problemas. Defeitos são imperfeições ou deficiências em um produto de trabalho que faz com que esse produto de trabalho não atenda aos seus requisitos ou especificações e precise ser consertado ou substituído. Um erro é uma ação humana que produz um resultado incorreto.

Uma falha representa o fim da habilidade de um produto de realizar uma função requerida ou sua inabilidade de desempenhar dentro de limites previamente especificados. Uma falta é uma manifestação concreta de um erro em um software. E por fim, o problema pode ser uma dificuldade ou incerteza vivida por uma ou mais pessoas, resultando de um encontro insatisfatório com um sistema em uso (IEEE 1044-2009, 2010).

Problemas e falhas estão associados ao uso do software. Problemas podem ser vividos por usuários e falhas podem ser reveladas em uso operacional ou, preferencialmente, em atividades de teste.

Essa tese adotará como padrão o termo defeito por ser considerado o mais adequado ao problema aqui tratado.

A seguir a proposta de integração de dados históricos de qualidade à técnica de GVA será apresentada.

3.3.1 Proposta de Integração de Dados Históricos de Qualidade à Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA)

A proposta de integração de dados históricos de qualidade à técnica de GVA, consiste na coleta de dados históricos de qualidade, tais como a quantidade de defeitos e o seu respectivo esforço e custo para correção, para fases específicas do ciclo de vida em projetos já finalizados, e a sua posterior utilização para estimar os defeitos esperados e o esforço e custo para correção dos defeitos, em projetos que estão em andamento.

Com base em um conjunto de medidas que serão apresentadas a seguir, o número de defeitos esperados para um projeto específico é estimado, levando-se em consideração o seu tamanho, as fases que compõem o seu ciclo de vida e o progresso das atividades de garantia da qualidade que estão sendo executadas. Com base nessas informações, novas previsões do número de defeitos esperados são feitas, bem como do esforço e custo para correção desses defeitos. Essas informações são então incorporadas à técnica tradicional de GVA ou a técnica de GVA_{HDC} .

A seguir uma visão geral da técnica proposta será apresentada.

3.3.2 Visão Geral da Técnica

A utilização da técnica proposta requer a execução de um conjunto de atividades organizacionais: (i) coletar o tamanho real de projetos já finalizados, (ii) coletar a quantidade de defeitos nas fases do ciclo de vida, em projetos já finalizados, (iii) coletar o esforço de retrabalho relacionado à correção dos defeitos nas fases do ciclo de vida, em projetos já finalizados, (iv) calcular a densidade de defeitos nas fases do ciclo de vida e por fim, (v) calcular o esforço médio para correção de defeitos nas fases do ciclo de vida.

Com base nos dados coletados, é necessário executar um conjunto de atividades para estimar a ocorrência de defeitos nas fases do ciclo de vida utilizados no projeto. Essas atividades são: (i) calcular o Número de Defeitos Esperados (NDE) e seus respectivos custos e esforço e (ii) traçar um gráfico com o percentual de defeitos esperados ao se executar as atividades de garantia da qualidade da fase. É necessário ainda executar outras atividades, de monitoramento e controle, para gerar medidas que serão comparadas com as geradas na fase anterior de planejamento. As atividades de monitoramento e controle do projeto, são: (i) coletar o Número de Defeitos Identificados Acumulados (NDI_{Acum}) e o Número de Defeitos Corrigidos Acumulados (NDR_{Acum}), (ii) calcular o IDD_{Acum} do projeto, (iii) projetar NDE com base no IDD_{Acum} , (iv) calcular a variação de custo da qualidade e (v) calcular $ENT_{Qualidade}$ (nesse momento é feita a integração da técnica proposta com o GVA tradicional).

A Figura 3.4 ilustra as atividades necessárias para a aplicação da técnica proposta, bem como o relacionamento entre elas.

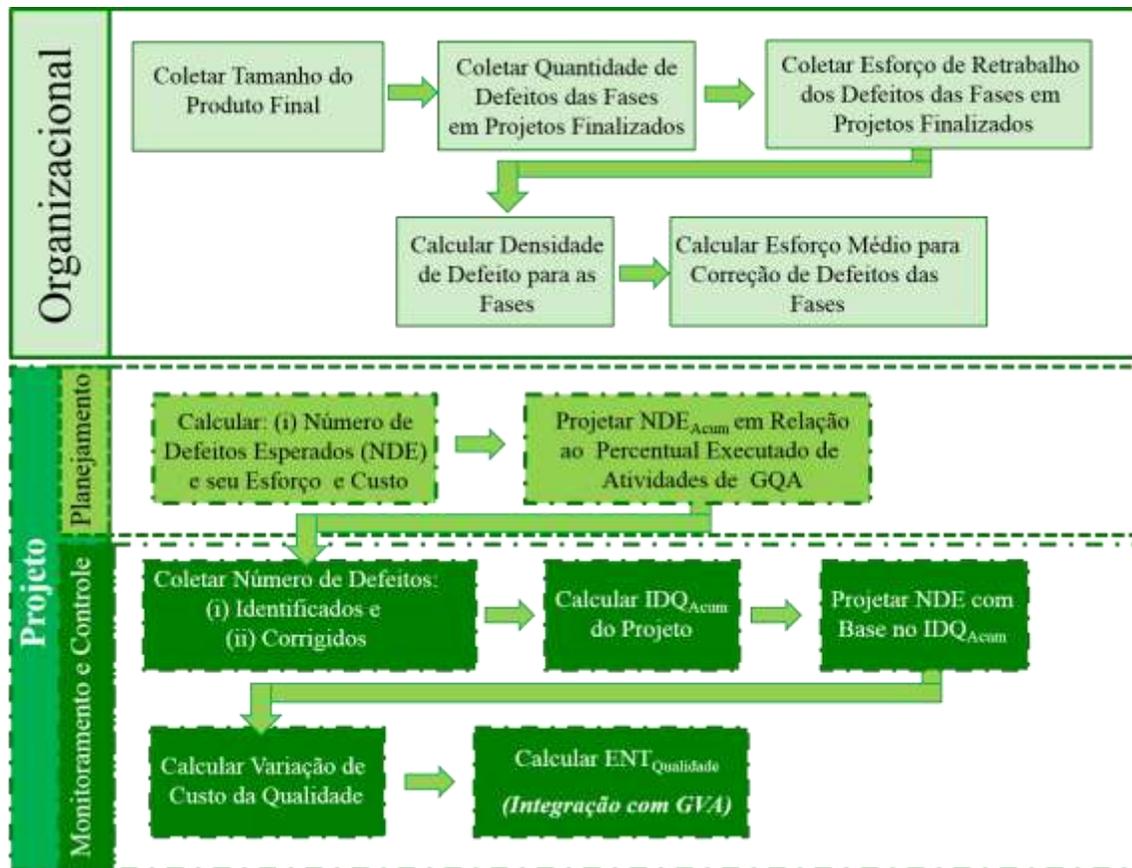


Figura 3. 4 – Atividades Necessárias para a Utilização da Técnica Proposta

A seguir as atividades necessárias para a execução da técnica proposta serão apresentadas e discutidas.

3.3.3 Atividades Organizacionais

As atividades organizacionais têm o objetivo de coletar dados históricos de qualidade dos projetos finalizados e gerar as medidas necessárias para estimar a densidade de defeitos de uma determinada fase do ciclo de vida e o esforço médio para a resolução de defeitos. Sendo assim, as primeiras atividades necessárias para a utilização da técnica proposta consistem na coleta de medidas das fases do ciclo de vida dos projetos já executados:

(i) ***Coletar Tamanho do Produto Final***

A medida tamanho do produto final será utilizada para o cálculo da medida **esforço médio para resolução de defeitos**, em outra atividade organizacional.

Dessa forma é necessário que a empresa faça a contagem do tamanho real de cada projeto finalizado dentro do intervalo de tempo que será considerado para o cálculo das medidas organizacionais: densidade de defeitos e esforço médio para resolução de defeitos.

Os projetos utilizados nessa atividade devem ter utilizado uma única técnica de estimativa de tamanho e devem ter dados de contexto iguais (por exemplo mesma versão do processo).

(ii) *Coletar a Quantidade de Defeitos Identificados e o Esforço de Retrabalho para Correção dos Defeitos nas Fases em Projetos Finalizados*

Todo projeto possui um conjunto de fases. Essas fases contêm um conjunto de artefatos que serão auditados e cuja correção dos defeitos gerará um custo que precisa ser analisado e integrado às medidas de GVA do projeto.

Sendo assim é necessário selecionar quais fases serão utilizadas pela técnica. As fases mais indicadas para terem seus dados de defeitos coletados são as fases cujos custos para correção de defeitos são maiores.

Assim, uma vez identificadas quais as fases serão utilizadas pela técnica, é necessário coletar o Número de Defeitos Identificados Acumulados (NDI_{Acum}) pelos seus artefatos e o respectivo esforço para correção desses defeitos.

A técnica proposta consiste na estimativa do Total de Defeitos Esperados (TDE) no projeto, e de sua posterior comparação com o Número de Defeitos Identificados (NDI) até um determinado momento. As duas medidas coletadas nessa atividade serão utilizadas para calcular a densidade de defeitos nas fases e a estimativa de esforço médio para a correção de defeitos dessa fase. Como essas medidas serão calculadas por fases, elas também devem ser coletadas por fase.

(iii) *Calcular Densidade de Defeitos nas Fases*

Segundo (FLORAC *et al.*, 1997) é possível calcular a densidade de defeitos por unidade de um artefato de software revisto, coletando os defeitos encontrados em várias revisões realizadas, de vários projetos. Dessa forma pode-se utilizar os seus valores médios para estimar o número de defeitos a ser encontrado em uma nova revisão desse mesmo artefato. Sendo assim, essa medida deverá ser gerada para cada fase do ciclo de vida que for utilizado no projeto, e será uma medida organizacional gerada com base em dados

históricos de diversos projetos. Ela pode ser calculada pela equação (18) (FLORAC *et al.*, 1997):

$$\text{DensidadeDefeitosFN} = \frac{\text{Média Histórica de Defeitos de Todos os Artefatos da Fase N}}{\text{Tamanho Histórico dos Projetos}} \quad (18)$$

Tanto a medida **Média Histórica de Defeitos de Todos os Artefatos da Fase N** quanto a medida **Tamanho Histórico dos Projetos** deverá ser calculada através das atividades de coleta anteriores.

(iv) **Calcular Esforço Médio Estimado para Correção de Defeito da Fase (EMECD)**

Essa é uma atividade organizacional que visa facilitar o cálculo do esforço e custo para resolução dos defeitos esperados de alguma fase. A proposta é que ela seja uma medida disponível para cada contexto de projetos, por exemplo, para projetos que utilizam uma mesma tecnologia e uma mesma versão de um processo, ou seja, cada fase do ciclo de vida terá uma EMECD específica.

Essa medida pode ser calculada por meio da equação (19):

$$\text{EMECD} = \frac{\text{Média Histórica de Esforço para Correção Defeitos no Fase N}}{\text{Média Histórica de Defeitos no Fase N}} \quad (19)$$

Onde:

- **Média Histórica de Esforço para Correção de Defeitos na Fase N:** representa o esforço total para a correção de defeitos relacionados a uma determinada fase. Deve-se considerar todos os projetos que utilizaram essa fase;
- **Média Histórica de Defeitos na Fase N:** representa a soma de todos os defeitos identificados (explicados na próxima seção) em uma determinada fase. Deve-se considerar todos os projetos que utilizaram essa fase.

Essa é uma medida que indica o esforço médio para a correção de um único defeito de uma determinada fase. Dessa forma para se obter o esforço para correção dos defeitos esperados ou identificados, basta multiplicá-los pelo esforço médio estimado para correção de defeitos dessa fase.

As atividades organizacionais executadas anteriormente geraram duas medidas organizacionais que são: (i) densidade de defeitos da fase, e (ii) esforço médio para resolução de defeitos de uma fase.

A seguir serão discutidas as medidas relacionadas ao planejamento da qualidade no projeto.

3.3.4 Atividades de Planejamento da Qualidade do Projeto

A técnica proposta baseia-se em quatro medidas básicas, que são utilizadas para gerar outras medidas. As medidas básicas são: (i) o Total de Defeitos Esperados (TDE), (ii) Número de Defeitos Identificados Acumulados (NDI_{Acum}), (iii) Número de Defeitos Esperados Acumulados (NCE_{Acum}) e (iv) Número de Defeitos Corrigidos Acumulados (NDR_{Acum}). As atividades necessárias para gerar as medidas citadas acima são descritas a seguir:

(i) **Calcular o Total de Defeitos Esperados (TDE)**

O *Total de Defeitos Esperados (TDE)* representa os defeitos esperados para uma dada fase do ciclo de vida em um projeto. Essa medida será gerada levando-se em consideração a densidade de defeitos das unidades de software a serem revistas dentro de uma determinada fase.

FLORAC *et al* (1997) propõem o cálculo da medida densidade de defeitos com relação ao tamanho do produto de software, dividindo-se a quantidade de defeitos pela quantidade de pontos de função. Sendo assim, pode-se esperar que o Total de defeitos Esperados (TDE) varie em função do tamanho do projeto executado.

Assim, pode-se estimar o Total de Defeitos Esperados (TDE) utilizando a equação (20) (FLORAC *et al.*, 1997):

$$\text{TDE} = \text{Tamanho do Projeto} * \text{Densidade de Defeitos da Fase} \quad (20)$$

Onde:

- **Tamanho do Projeto:** é o tamanho estimado no início do projeto. Ele pode ser estimado usando as técnicas de pontos de função, pontos de caso de uso ou qualquer outra medida de tamanho de software, desde que a empresa sempre utilize dados históricos de projetos que utilizaram a mesma técnica de estimativa utilizada nos outros projetos.

O Total de Defeitos Esperados (TDE) representa uma proposta de linha base de planejamento do retrabalho causado pelos defeitos. Segundo SOLOMON (2005) a falha

em estabelecer uma linha base de planejamento para o retrabalho ou a falha na medição precisa do progresso do retrabalho causa a perda de controle em muitos projetos.

(ii) ***Estimar o Número de Defeitos Esperados Acumulados (NDE_{Acum}) em Relação ao Percentual de Atividades de Garantia da Qualidade Executadas***

Os defeitos das fases são identificados através das atividades de Garantia da Qualidade (GQA) planejadas para eles, tais como testes e inspeções.

Sendo assim, o cálculo das NDE_{Acum} deve ser realizado com base no Percentual Executado das Atividades de GQA Planejadas para a Fase (PEAGQAP), como nas equações (20) e (21):

$$NDE_{Acum} = TDE_{Total} * PEAGQAP \quad FN \quad (21)$$

Onde:

$$PEAGQAP \quad FN = \frac{VA_{Acum \quad Fase}}{ONT \quad Fase} \quad , \quad (22)$$

Dessa forma, pode-se garantir que a comparação do NDE_{Acum} leva em consideração o que foi executado de atividades de garantia da qualidade afim de encontrar o Número de Defeitos Identificados Acumulados (NDI_{Acum}).

A seguir serão discutidos os aspectos relacionados ao monitoramento e controle da qualidade do projeto, utilizando a técnica proposta.

3.3.5 Atividades de Monitoramento e Controle Utilizando a Técnica de GVA e Dados Históricos de Qualidade

A parte mais importante dessa proposta é o monitoramento e controle das medidas coletadas e sua integração com a técnica de GVA tradicional.

O monitoramento e controle das medidas propostas pela técnica envolve coletar o Número de Defeitos Identificados Acumulados (NDI_{Acum}) e compará-los com o Número de Defeitos Esperados Acumulados (NDE_{Acum}). Essas duas medidas darão origem ao Indicador de Desempenho de Defeitos (IDD) que por sua vez será utilizado para realizar a projeção dos defeitos esperados e do custo para resolvê-los.

A seguir cada uma dessas medidas serão apresentadas:

(i) **Coletar o Número de Defeitos Identificados Acumulados (NDI_{Acum})**

O **Número de Defeitos Identificados Acumulados (NDI_{Acum})** representa os defeitos detectados em atividades de garantia da qualidade até determinado momento do projeto. O NDI_{Acum} é a soma de todos os defeitos identificados em determinada fase do ciclo de vida, em um determinado projeto e pode ser calculado pela equação (23):

$$NDI_{Acum} = \sum_1^N \text{Defeito Identificado } FN \quad (23)$$

(ii) **Coletar o Número de Defeitos Corrigidos Acumulados (NDC_{Acum})**

O **Número de Defeitos Corrigidos Acumulados (NDC_{Acum})** representa os defeitos corrigidos até o momento no projeto e pode ser calculado usando a equação (24):

$$NDC_{Acum} = \sum_n^1 \text{Defeito Corrigido } N \quad (24)$$

Uma estimativa de horas pode ser fornecida para o **Número de Defeitos Esperados Acumulados (NDE_{Acum})** e **Número de Defeitos Identificados Acumulados (NDI_{Acum})**, utilizando o **Esforço Médio Estimado para Resolução de Defeitos (EMERD)**. Para isso é necessário multiplicar essa medida pelo NDE_{Acum} , NDI_{Acum} ou TDE, como na equação (25):

$$EMERD = EMECD * Medida \quad (25)$$

Onde:

- **Medida:** pode ser NDE_{Acum} , NDI_{Acum} ou TDE

Segundo Putman (2000), a densidade de defeitos pode permitir estimar os defeitos esperados por horas, dias ou semanas no cronograma do projeto. Essa projeção, então, representa uma referência sob a qual a densidade de defeitos pode ser monitorada, através do **Número de Defeitos Esperados Acumulados (NDE_{Acum})** até um determinado momento do projeto.

Esse monitoramento do NDE_{Acum} , em uma data específica, pode ser feito através de sua comparação com o NDI_{Acum} no projeto, conforme ilustra a Figura 3.5.

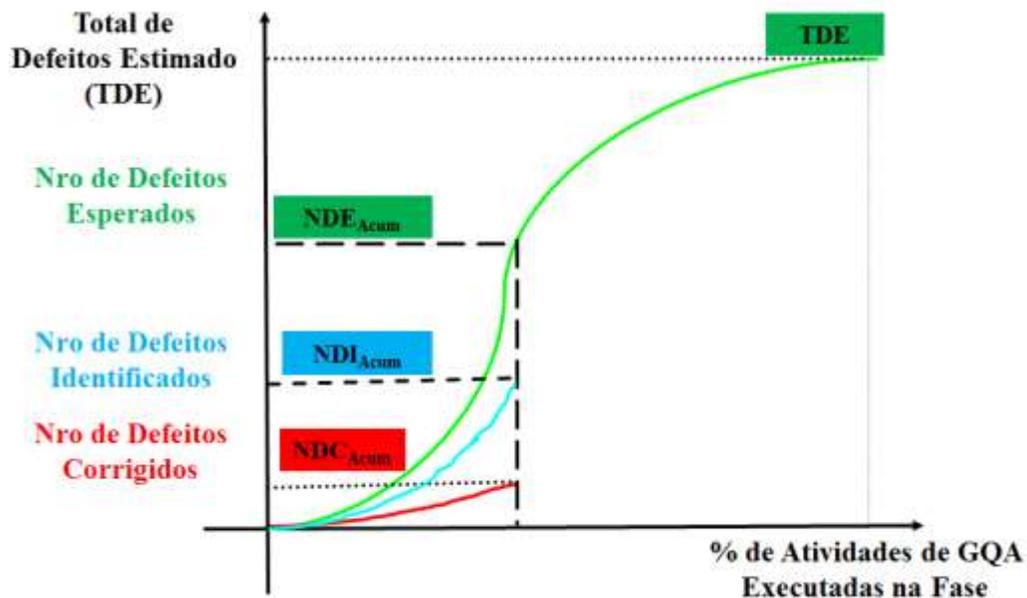


Figura 3.5 – Gráfico com as NDE_{Acum} , NDI_{Acum} e NDC_{Acum} em Função do Percentual de Atividades de GQA Executadas ou Planejadas para Serem Executadas em uma Fase

No momento que a empresa fizer essa comparação, ela deve avaliar o NDE_{Acum} e NDI_{Acum} em função da quantidade de atividades de garantia da qualidade planejadas para serem executadas na fase do ciclo de vida. Com base nessas informações é possível produzir o gráfico com o NDE_{Acum} , o NDI_{Acum} e o NDC_{Acum} no eixo Y da Figura 3.5, em função do percentual das atividades de GQA executadas na fase (eixo X da Figura 3.5).

É possível, ainda, desenvolver o gráfico dos custos do NDE_{Acum} , do NDI_{Acum} e do NDC_{Acum} , substituindo a medida defeitos no eixo Y da Figura 3.5 pela medida custo, em função do percentual das atividades de GQA executadas na fase.

A Figura 3.5 mostra apenas um possível exemplo de como os valores acumulados das medidas apresentadas anteriormente podem ser visualmente comparadas. E não significa que os gráficos devem apresentar necessariamente esse desenho.

A seguir a próxima seção descreve como as medidas descritas anteriormente podem ser utilizadas para analisar o desempenho atual dos projetos e fazer projeções futuras de seu comportamento.

(iii) Calcular Indicador de Desempenho da Defeito (IDD_{Acum})

O IDD_{Acum} é um indicador que mostra a relação entre os defeitos esperados e os defeitos identificados para uma fase de um determinado projeto. Dada uma determinada data, o indicador diz se o número de defeitos identificados é maior ou menor que o número de defeitos esperados, permitindo fazer projeções sobre o desempenho futuro de defeitos, através de uma Estimativa de Defeitos Para Completar (EDPC). Esse indicador pode ser calculado pela equação (26):

$$IDD_{Acum} = \frac{NDE_{Acum}}{NDI_{Acum}} \quad (26)$$

Um valor abaixo de 1 para o indicador, significa que foram encontrados mais defeitos que o esperado. Um valor acima de 1, indica que foram encontradas menos defeitos que o esperado.

(iv) Projetar o Total de Defeitos Esperados (TDE) com Base no Indicador de Desempenho de Defeitos (IDD_{Acum}) da Fase

O objetivo do Indicador de Desempenho de Defeitos (IDD_{Acum}) é analisar a quantidade de defeitos do projeto em relação ao esperado e permitir a tomada de decisões com base nessas informações.

Conforme o projeto progride, a equipe de projeto pode elaborar uma nova previsão para a Estimativa de Defeitos Para Completar (EDPC), que pode ser diferente do Total de Defeitos Esperados (TDE), com base no Indicador de Desempenho de Defeitos (IDD_{Acum}) da fase.

Para avaliar a viabilidade do TDE, o andamento do projeto e a extensão das variações que ocorreram em relação ao número de defeitos esperados, será utilizada a própria TDE, sua projeção denominada Estimativa de Defeitos Para Completar (EDPC) e a Estimativa de Defeitos Extras Para Completar (EDXPC), conforme ilustra a Figura 3.6.

A EDPC representa a projeção de defeitos com base no Indicador de Desempenho de Defeitos (IDD_{Acum}) e substitui o Total de Defeitos Esperados (TDE), caso não seja mais viável uma ação corretiva que corrija o Número de Defeitos Identificados (NDI_{Acum}) para que em algum momento ele seja menor ou igual ao Número de Defeitos Esperados (NDE_{Acum}).

A EDPC pode ser calculada pela equação (27):

$$\mathbf{EDPC} = \frac{TDE}{IDDAcum} \quad (27)$$

A Estimativa de Defeitos Extras Para Completar (EDXPC) mede a variação de defeitos que são esperados em função da variação positiva ou negativa da EDPC, e pode ser calculada pela equação (28):

$$\mathbf{EDXPC} = \mathbf{EDPC} - \mathbf{TDE} \quad (28)$$

É possível notar a EDXPC destacada no gráfico da figura 3.6, como uma linha serrilhada paralela ao eixo X (Defeitos) do gráfico, indicando a variação de defeitos extras.

As medidas básicas de qualidade TDE, NDE_{Acum} , NDI_{Acum} , EDPC e EDXPC, são representadas na Figura 3.6.

As variações positivas ou negativas no número Total de Defeitos Esperados (TDE) podem trazer impactos nos custos da fase que está sendo executada e, conseqüentemente, no projeto como um todo. Para isso é necessário calcular a Variação de Custo dos Defeitos:

(v) *Calcular a Variação de Custo dos Defeitos*

Os custos relacionados à prevenção, à detecção e à resolução de defeitos normalmente fazem parte da linha base de custo de qualquer projeto. Entretanto, raramente as empresas levam em consideração informações relacionadas à variação dessas medidas durante o monitoramento e controle de custos. Dessa forma, quando a qualidade apresentar resultados diferentes dos esperados, o IDC_{Acum} poderá trazer informações erradas. O IDC_{Acum} pode indicar que o projeto encontra-se dentro do orçamento previsto, quando existem mais defeitos identificados e não corrigidos que o previsto para o momento, o que aumentaria o seu custo real e, conseqüentemente, reduziria o IDC_{Acum} .

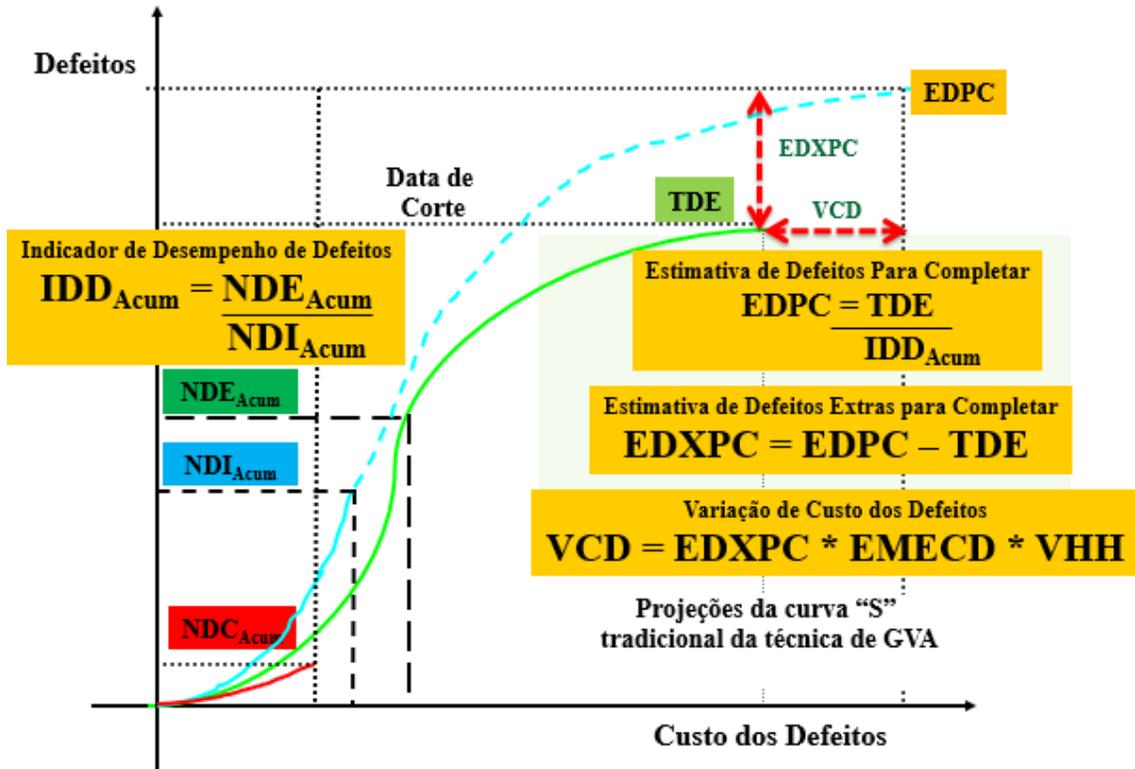


Figura 3. 6 – Projeção das TDE utilizando o IDD_{Acum}

Assim, a técnica proposta sugere que seja utilizada a Estimativa de Defeitos Extras Para Completar (EDXPC), para obter a Variação de Custo de correção de Defeitos (VCD), em relação ao custo do Total de Defeitos Esperados (TDE). Essa variação informa o quão diferente do esperado será o custo estimado com retrabalho para correção dos defeitos identificados. O VCD pode ser calculado conforme a equação (29):

$$VCD = EDXPC * EMECD * VHH \quad (29)$$

onde:

- **Valor Homem Hora:** Representa o valor homem hora utilizado pela empresa para as atividades de correção de defeitos ou relacionadas ao retrabalho da fase;
- (vi) *Calcular a Estimativa No Término ($ENT_{Qualidade}$) (Integração da Técnica Proposta com o GVA)*

Após calculada a Variação de Custo de correção de Defeitos (VCD), ela deve ser incorporada às medidas de custo dos projetos.

O GVA propõe diversas equações para fazer a projeção de custos ou a Estimativa de Custo No Término (ENT), sendo a mais utilizada a seguinte:

$$ENT_{\text{Tradicional}} = \frac{ONT}{IDCA_{\text{Acum}}}, \text{ já discutida na seção anterior.}$$

A técnica proposta sugere uma complementação dessa projeção, com a soma da Variação de Custo de correção de Defeitos (VCD). Assim a equação (30) será:

$$ENT_{\text{Qual}} = \frac{ONT}{IDCA_{\text{Acum}}} + VCD \quad (30)$$

Ao somar a Variação de Custo de correção de Defeitos (VCD) a ENT do projeto, obtém-se a integração da técnica proposta de qualidade com a técnica tradicional de GVA.

Opcionalmente pode-se utilizar o $IDCA_{\text{Acum}}$ calculado pela técnica proposta na seção 3.2, obtendo-se assim a integração das 2 técnicas propostas: a que utiliza dados históricos de desempenho de custo, e a que utiliza dados históricos de desempenho de qualidade, com a técnica de GVA tradicional.

A seguir será apresentado um exemplo real de utilização da técnica, para melhorar o entendimento do cálculo das medidas propostas.

3.3.6 Exemplo de Aplicação da Técnica de GVA com dados Históricos de Qualidade

Para facilitar o entendimento e o cálculo das medidas propostas na seção anterior, essa seção será dividida em 2 partes. Na primeira parte serão apresentados exemplos de cálculo das medidas relacionadas ao planejamento do projeto, como por exemplo o cálculo do Total de Defeitos Esperados (TDE) e do esforço e custo para correção dos defeitos esperados.

Em um segundo momento, serão apresentados exemplos de como calcular as medidas relacionadas ao monitoramento e controle do projeto, através das medidas apresentadas na seção anterior, e a sua integração com os dados de GVA.

(i) *Utilização da Técnica Proposta para o Cálculo das Medidas Relacionadas ao Planejamento da Qualidade*

Considere que a empresa na qual o projeto será executado possui dados históricos de qualidade das fases de verificação e de correção, no qual foram registrados os defeitos identificados na fase de verificação e o respectivo esforço de sua correção para 10 projetos.

Esses dados e os dados de gerenciamento de 10 projetos (tamanho real apurado), executados anteriormente, são exibidos na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Dados Históricos de Qualidade e de Gerenciamento de Projetos

Projetos	Total de Defeitos	Esforço Real para Corrigir os Defeitos (*)	Tamanho dos Projetos (*)
P1	32	69	600
P2	50	50	500
P3	36	36	360
P4	62	62	560
P5	34	67	630
P6	25	62	580
P7	24	40	420
P8	27	54	500
P9	29	57	530
P10	20	45	370
Média	26,50	54,25	505,00
Somatório	265	5425	5050

(*) Tamanho do Projeto e Esforço de Correção dos Defeitos em homens hora.

Para exemplificar o uso da técnica considere o projeto apresentado na Figura 3.7. Esse projeto é composto por 4 fases, a citar: Análise, Implementação, Verificação e Correção. Essas fases têm esforço e orçamento estimados conforme exemplificado na Figura 3.7. O orçamento presente na Figura 3.7, considerou um valor homem hora de R\$ 10,00 para facilitar a discussão do exemplo.

Nome da tarefa	ONT	Esforço
▾ Projeto Teste	R\$ 5.000,00	500 h
▾ Análise	R\$ 600,00	60 h
▸ Documento de Requisitos	R\$ 600,00	60 h
▾ Implementação	R\$ 3.500,00	350 h
▾ Release 01	R\$ 1.900,00	190 h
Implementar RF01	R\$ 400,00	40 h
Implementar RF02	R\$ 500,00	50 h
Implementar RF03	R\$ 700,00	70 h
Implementar RF04	R\$ 300,00	30 h
▸ Release 02	R\$ 1.600,00	160 h
▾ Verificação	R\$ 400,00	40 h
▾ Release 01	R\$ 200,00	20 h
Testar RF01	R\$ 40,00	4 h
Testar RF02	R\$ 20,00	2 h
Testar RF03	R\$ 60,00	6 h
Testar RF04	R\$ 80,00	8 h
▾ Release 02	R\$ 200,00	20 h
Testar RF05	R\$ 40,00	4 h
Testar RF06	R\$ 20,00	2 h
Testar RF07	R\$ 60,00	6 h
Testar RF08	R\$ 80,00	8 h
▾ Correção	R\$ 500,00	50 h
▾ Release 01	R\$ 250,00	25 h
Corrigir Defeitos Rel 01	R\$ 250,00	25 h
▾ Release 02	R\$ 250,00	25 h
Corrigir Defeitos Rel 02	R\$ 250,00	25 h

Figura 3. 7 – Orçamento e Tamanho do Projeto

Sendo assim, com base nos dados fornecidos pela Tabela 3.11, e no tamanho do projeto utilizado como exemplo, fornecido pela Figura 3.7, é possível estimar o Total de Defeitos Esperados (TDE) para o projeto do exemplo.

O Total de Defeitos Esperados (TDE), pode ser estimado utilizando a seguinte equação:

$$\mathbf{TDE} = \mathbf{Tamanho\ do\ Projeto} * \mathbf{Densidade\ de\ Defeitos\ da\ Fase}$$

O tamanho do projeto é de 500 horas como pode ser visto na Figura 3.7. A densidade de defeitos não é dada no exemplo, mas pode ser calculada utilizando os dados da Tabela 3.11 na equação a seguir:

$$\mathbf{Densidade\ de\ Defeitos\ Verificação} = \frac{\mathbf{Média\ Histórica\ de\ Defeitos\ da\ Fase}}{\mathbf{Média\ Histórica\ de\ Tamanho\ dos\ Projetos}}$$

$$\text{Densidade de Defeitos Verificação} = \frac{26,5}{505} = 0,0525 \text{ defeitos por homem hora}$$

Sendo assim, o TDE previsto é de:

$$\text{TDE} = \text{Tamanho} * \text{Densidade de Defeitos da Fase} = 500 * 0,0525 = 26,23 \text{ defeitos.}$$

Com base nos dados da Tabela 3.11, também pode-se estimar o Esforço Médio para Correção de um Defeito (EMECD), na fase de Correção, e assim estimar o Esforço de Correção do Total de Defeitos Esperados (ECTDE).

O Esforço Médio para Correção de um Defeito (EMECD) pode ser calculado utilizando a equação:

$$\text{EMECD} = \frac{\text{Média Histórica de Esforço para Correção Defeitos no Processo } N}{\text{Média Histórica de Defeitos no Processo } N}$$

Ambas as medidas da fórmula são dadas na Tabela 3.11, sendo assim, tem-se:

$$\text{EMECD} = \frac{54,25}{26,5} = 2,047 \text{ horas por defeito}$$

Tendo o EMECD, é possível estimar o Esforço de Correção do Total de Defeitos Esperados (ECTDE), utilizando a seguinte equação:

$$\text{ECTDE} = \text{EMECD} * \text{TDE} = 2,047 * 26,23 = 53,7 \text{ horas para a correção de todos os defeitos esperados da fase}$$

Considere agora que o projeto encontra-se em andamento, com 59% do projeto já executado e com atividades de todas as fases em execução ou já executados, conforme a Figura 3.8.

A fase de verificação já está parcialmente executada (50%) e a fase de correção também encontra-se parcialmente executada com (40%).

Uma vez que o Total de Defeitos Esperados (TDE) foi estimado, pode-se então, estimar o Número de Defeitos Esperados Acumulados (NDE_{Acum}) para o projeto no decorrer de sua execução. Conforme descrito na seção anterior, o NDE_{Acum} pode ser calculado em função do percentual de atividades de garantia da qualidade executadas, sendo assim, pode-se aplicar a equação abaixo para calculá-lo para cada momento específico do projeto:

$$NDE_{Acum} = \text{TDE} * \text{PEAGQAP Verificação}$$

Nome da tarefa	VPAcum.	VAAcum	ONT	CRÁcum	IDCAcum	% concluída
▾ Projeto Teste	R\$ 4.260,00	R\$ 2.660,00	R\$ 5.000,00	R\$ 2.880,00	1,01	59%
▾ Análise	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 400,00	1,5	100%
▸ Documento de Requisitos	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00	R\$ 400,00	1,5	100%
▾ Implementação	R\$ 3.500,00	R\$ 1.900,00	R\$ 3.500,00	R\$ 2.050,00	0,93	54%
▾ Release 01	R\$ 1.900,00	R\$ 1.900,00	R\$ 1.900,00	R\$ 2.050,00	0,93	100%
Implementar RF01	R\$ 400,00	R\$ 400,00	R\$ 400,00	R\$ 500,00	0,8	100%
Implementar RF02	R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$ 450,00	1,11	100%
Implementar RF03	R\$ 700,00	R\$ 700,00	R\$ 700,00	R\$ 800,00	0,88	100%
Implementar RF04	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00	1	100%
▸ Release 02	R\$ 1.600,00	R\$ 0,00	R\$ 1.600,00	R\$ 0,00	0	0%
▾ Verificação	R\$ 160,00	R\$ 160,00	R\$ 400,00	R\$ 230,00	0,84	50%
▾ Release 01	R\$ 160,00	R\$ 160,00	R\$ 200,00	R\$ 230,00	0,84	100%
Testar RF01	R\$ 40,00	R\$ 40,00	R\$ 40,00	R\$ 50,00	0,8	100%
Testar RF02	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 30,00	0,67	100%
Testar RF03	R\$ 60,00	R\$ 60,00	R\$ 60,00	R\$ 70,00	0,86	100%
Testar RF04	R\$ 40,00	R\$ 40,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00	1	100%
▾ Release 02	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 200,00	R\$ 0,00	0	0%
Testar RF05	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 40,00	R\$ 0,00	0	0%
Testar RF06	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 20,00	R\$ 0,00	0	0%
Testar RF07	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 60,00	R\$ 0,00	0	0%
Testar RF08	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 80,00	R\$ 0,00	0	0%
▾ Correção	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 500,00	R\$ 200,00	0	40%
▾ Release 01	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 250,00	R\$ 200,00	0	80%
Corrigir Defeitos Rel 01	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 250,00	R\$ 200,00	0	80%
▾ Release 02	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 250,00	R\$ 0,00	0	0%
Corrigir Defeitos Rel 02	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 250,00	R\$ 0,00	0	0%

Figura 3. 8 – Orçamento para Monitoramento e Controle do Projeto

Como o Percentual Executado das Atividades de GQA Planejadas para a Fase (PEAGQAP) é dado pela equação abaixo:

$$\text{PEAGQAP Verificação} = \frac{\text{VAAcum Fase}}{\text{ONT Fase}}$$

O cálculo do NDE_{Acum} fica como a equação a seguir:

$$\text{NDE}_{\text{Acum}} = \text{TDE} * \frac{\text{VAAcum Fase}}{\text{ONT Fase}}$$

A fase de verificação possui 8 atividades de garantia da qualidade (ver Figura 3.8, fase de Verificação, atividades testar RF01 à testar RF08). Sendo assim, pode-se calcular o NDE_{Acum} em 8 pontos distintos do projeto, aplicando-se a equação acima nesses pontos. A aplicação da equação gerará o NDE_{Acum} previstos na Tabela 3.12.

O Número de Defeitos Esperados Acumulados (NDE_{Acum}) pode ser graficamente visualizado no eixo Y da Figura 3.9. O eixo X do gráfico mostra o % Executado das Atividades de GQA da fase de Verificação.

Tabela 3.12 – Número de Defeitos Esperados (NDE_{Acum}) em Função do % Executado de Atividades de GQA da fase de Verificação

Atividade	VA	VA_{Acum}	% Exec. GQA	NDE_{Acum}
Testar RF01	40	40	10%	3
Testar RF02	20	60	15%	4
Testar RF03	60	120	30%	8
Testar RF04	80	200	50%	13
Testar RF05	40	240	60%	16
Testar RF06	20	260	65%	17
Testar RF07	60	320	80%	21
Testar RF08	80	400	100%	26

Em um dado momento do projeto, pode-se coletar o Número de Defeitos Identificados Acumulados (NCI_{Acum}) e compará-los através do Indicador de Desempenho da Defeitos Acumulado ($IDDA_{Acum}$).

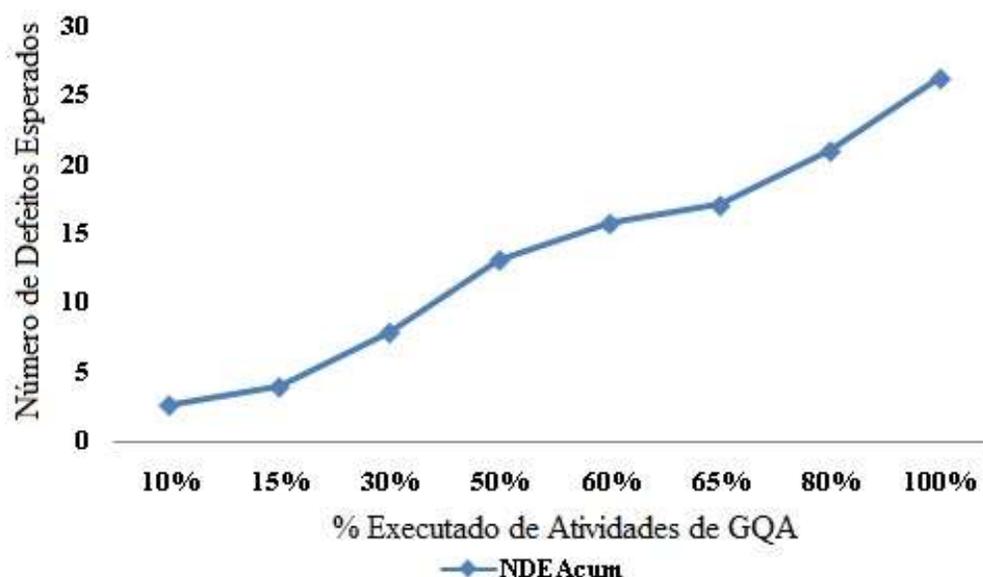


Figura 3.9 – Número de Defeitos Esperados Acumulados (NDE_{Acum}) para o Projeto, em Função do % Executado de Atividades de GQA

Como o projeto encontra-se com 50% da fase de verificação já executado, e supondo que o Número de Defeitos Identificados Acumulados (NCI_{Acum}) seja igual a 19, e

o Número de Defeitos Corrigidos Acumulados (NCC_{Acum}) seja igual a 10, pode-se calcular o IDD_{Acum} através da seguinte equação:

$$IDD_{Acum} = \frac{NDE_{Acum}}{NDI_{Acum}}$$
$$IDD_{Acum} = \frac{13}{19} = 0,684$$

O Indicador de Desempenho de Defeitos Acumulado (IDD_{Acum}) é igual a 0,648. Isso significa que mais defeitos que o esperado estão sendo identificados e que, provavelmente, o número final de defeitos, bem como o esforço e o custo necessários para corrigí-los será maior que o estimado.

Sendo assim, é necessário realizar uma projeção ou uma nova Estimativa de Defeitos Para Completar (EDPC) o projeto. Essa nova estimativa pode ser calculada utilizando a seguinte equação:

$$EDPC = \frac{TDE}{IDD_{Acum}}$$
$$EDPC = \frac{26}{0,684} = 38$$

É possível ainda calcular a projeção do NDE_{Acum} para as atividades que ainda não foram executadas, aplicando a equação já utilizada para fazer a projeção do NDE_{Acum} no início do projeto. Entretanto, dessa vez o TDE será momentaneamente substituído pelo EDPC, somente para as atividades que ainda não foram executadas, como na equação a seguir:

$$NDE_{Acum \text{ Projeção}} = EDPC * \frac{VAAcumProcesso}{ONTP_{processo}}$$

A aplicação da equação acima para as atividades de 5 a 8 resultará em uma projeção conforme a coluna “Projeção do NDE_{Acum} ” da Tabela 3.13.

Tabela 3.13 – Projeção do Número de Defeitos Esperados (NDE_{Acum}) com Base na Estimativa de Defeitos Para Completar (EDPC), em Função do % Executado de Atividades de GQA da Fase de Verificação

Atividade	VA	VA_{Acum}	% Exec. GQA	Projeção do NDE_{Acum}
Testar RF05	40	240	60%	23
Testar RF06	20	260	65%	25
Testar RF07	60	320	80%	30
Testar RF08	80	400	100%	38

O NCE_{Acum} , NCI_{Acum} , NCC_{Acum} e a Projeção do NCE_{Acum} com base no EDPC podem ser vistos no eixo Y da Figura 3.10. O eixo X da mesma figura mostra o % executado e planejado das atividades de GQA da fase de Verificação.

No exemplo dado na Figura 3.10, é nítida a diferença entre o NDI_{Acum} e o NDE_{Acum} e sua projeção. Nesse caso, ações corretivas e preventivas podem ser tomadas para corrigir o problema, e o impacto desse cenário nos custos do projeto deve ser avaliado.

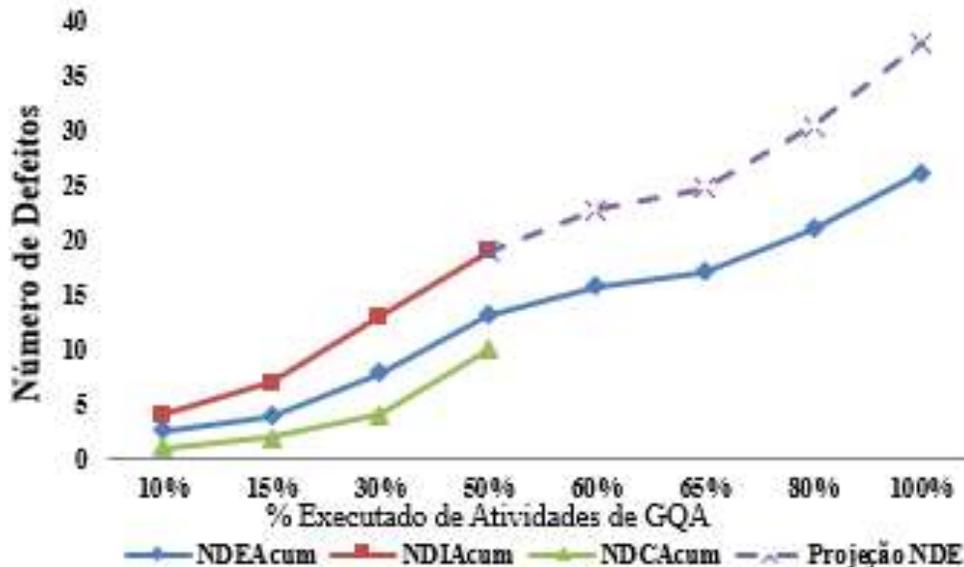


Figura 3.10 – NCE_{Acum} , NCI_{Acum} , NCC_{Acum} e Projeção do NCE baseado no EDPC

Para avaliar o impacto desse cenário nos custos do projeto deve-se calcular a Estimativa de Defeitos Extras Para Completar (EDXPC). A EDXPC mede a variação de

defeitos que são esperados em função da variação da Estimativa de Defeitos Para Completar (EDPC) em relação ao Total de Defeitos Esperados (TDE), e pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\mathbf{EDXPC = EDPC - TDE}$$

$$\mathbf{EDXPC = 38 - 26 = 12}$$

O cálculo do EDXPC indicou que o projeto provavelmente terá 12 defeitos a mais que o estimado inicialmente. Sendo assim, será necessário corrigir a Estimativa No Término (ENT) do projeto, acrescentando o custo extra relacionado aos defeitos extras previstos.

Para isso é necessário calcular a Variação de Custo de correção de Defeitos (VCD). Essa variação informa o quão diferente do esperado será o custo de correção, conforme a equação a seguir:

$$\mathbf{VCD = EDXPC * EMECD * VHH}$$

O Esforço Médio para Correção de um Defeito (EMECD) e a Estimativa de Defeitos Extras Para Completar (EDXPC) já foram calculadas anteriormente, e são iguais a 2,047 e 12, respectivamente. O Valor Homem Hora (VHH) foi dado e é igual a R\$ 10,00 a hora.

Sendo assim, é possível estimar a Variação de Custo para corrigir Defeitos (VCD):

$$\mathbf{VCD = 12 * 2,047 * 10 = 245,64}$$

O VCCD pode então ser integrado ao GVA tradicional através da seguinte equação:

$$\mathbf{ENT_{Qual} = \frac{ONT}{IDCAcum} + VCD}$$

$$\mathbf{ENT_{Qual} = \frac{5.000}{1,01} + 245,64 = 5.196,13}$$

Sendo assim a Estimativa No Término (ENT_{Qual}) utilizando a técnica proposta indicou que o projeto terá um custo de R\$ 196,13 acima do valor orçado.

Se fosse utilizada apenas a técnica tradicional de GVA, como o IDC_{Acum} do projeto é 1,01, a técnica indicaria que o projeto encontra-se com os custos abaixo do estimado, pois $ENT = ONT / IDC_{Acum}$, ou seja, a Estimativa No Término (ENT_{Tradicional}) seria de (R\$ 5.000,00 / 1,01 = R\$ 4.950,50).

Assim, no exemplo apresentado, a técnica proposta para integração de dados históricos de qualidade mostrou uma diferença de cerca de 5% em relação ao custo final, calculado pela técnica tradicional.

A técnica que integra dados históricos de desempenho de custo, também pode ser utilizada em conjunto com a técnica apresentada nessa seção, bastando trocar o IDC_{Acum} da equação acima pelo $IDC_{Previsto}$ calculado pela técnica de GVA integrada aos dados históricos de desempenho de custo.

3.4 Considerações finais

Este capítulo apresentou as técnicas de GVA com dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC}) e GVA com dados Históricos de Qualidade (GVA_{HDQ}), que são as propostas para “calibração” da técnica de GVA para realizar previsões de custo, quando existem dados históricos de custo e de qualidade disponíveis.

A técnica de GVA_{HDC} combina a técnica tradicional que utiliza dados de IDC_{Acum} do projeto, com os dados de desempenho de custo histórico de fases que estão em execução ou que serão executados no futuro, no mesmo projeto.

A técnica de GVA_{HDQ} combina a técnica tradicional que utiliza dados de IDC_{Acum} do projeto com dados de qualidade, como número de defeitos esperados, identificados e corrigidos, entre outras informações de qualidade, de fases que estão em execução ou que serão executados no futuro, no mesmo projeto.

O Capítulo 4 descreve os quatro estudos primários executados, de acordo com a metodologia baseada em experimentação, que foi utilizada para a avaliação e aprimoramento das técnicas propostas.

O Capítulo 5 descreve o estudo de caso conduzido com o objetivo de validar as técnicas propostas.

CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO E EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS PROPOSTAS ATRAVÉS DE UMA METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Este capítulo descreve os dois estudos de viabilidade executados, de acordo com a metodologia baseada em experimentação que guiou o desenvolvimento e aperfeiçoamento da técnica de Grenciamento de Valor Agregado (GVA) utilizando dados históricos de desempenho de custos (GVA_{HDC}) e dados históricos de desempenho de qualidade (GVA_{HDQ}). 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 *et al.* 2004).

Segundo SHULL *et al.* (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 dois estudos de viabilidade executados, conforme proposto na metodologia.

4.2 Definição e Planejamento do Estudo de Viabilidade das Técnicas Propostas

Segundo a metodologia experimental, apresentada na Seção 1.4, a primeira 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. Como o presente trabalho propõe duas técnicas distintas: (i) integração de dados históricos de desempenho de custo (GVA_{HDC}) à GVA e (ii) integração de dados históricos de qualidade (GVA_{HDQ}) à GVA; cada uma das técnicas foi avaliada separadamente, e a questão de pesquisa foi aplicada a ambas as técnicas. 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 *et al.* (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.

As técnicas apresentadas no Capítulo 3 foram avaliadas através de um estudo de viabilidade, no qual o objetivo era medir sua precisão e exatidão. Segundo o (PMI, 2011), precisão e exatidão não são a mesma coisa. Precisão significa que os valores de medição repetidos estão agrupados e apresentam pouca dispersão. Exatidão significa que o valor medido está bem próximo do valor correto. Medidas precisas não são necessariamente exatas, e uma medida exata não é necessariamente precisa.

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

Analisar	as técnicas propostas para a realização da Estimativa de previsão de orçamento No Término (ENT)
Com o propósito	de caracterizar
Com respeito à	exatidão e a precisão
Do ponto de vista dos	pesquisadores da técnica
No contexto de	um projeto de desenvolvimento de software

Dessa forma, para medir a exatidão das técnicas comparou-se a Estimativa No Término (ENT), utilizando o IDC_{Acum} de cada técnica (tradicional e proposta), com o Custo Real Acumulado (CR_{Acum}) do final do projeto. A exatidão ou erro das técnicas foi medido

em três momentos distintos dos projetos: (i) próximo do início, após 25% de execução (ENT_{25%}), (ii) no meio do projeto, após 50% de execução (ENT_{50%}) e (iii) próximo do final, após 75% de execução (ENT_{75%}).

A exatidão ou erro de cada técnica foi calculado por atividade do projeto, utilizando a equação a seguir:

$$\text{Erro}_{\text{ENTAtividade}(N)} = \left| 1 - \left(\frac{\text{CR}_{\text{Final}}}{\text{ENT}_{\text{Atividade}(N)}} \right) \right|, \quad (31)$$

Os resultados da equação poderiam gerar valores positivos ou negativos. Quando calculado o erro médio através da equação (31), valores positivos poderiam compensar valores negativos, e vice versa, mascarando os resultados (a média entre -20 e 20 é 0, por exemplo).

Para evitar esse problema, o erro das técnicas foi calculado utilizando-se o valor absoluto para a equação (31) e (33).

O erro médio da ENT exibido por cada técnica em relação ao Custo Real (CR) foi calculado pela equação seguinte:

$$\text{Erro Médio EAC} = \frac{\sum_1^N \text{Erro}_{\text{ENT Atividade}(N)}}{N}, \quad (32)$$

Para medir a precisão das técnicas, foi avaliada a variação do IDC_{Acum. Atividade (N)} das técnicas em relação ao próximo IDC_{Acum. Atividade(N+1)} medido, ou seja, quanto o indicador variou em relação à atividade posterior.

A variação do IDC_{Acum} de cada uma das atividades do projeto foi avaliada em ambas as técnicas, pela seguinte equação:

$$\text{Variação IDC}_{\text{Acum Atividade}(N)} = \left| 1 - \frac{\text{IDC}_{\text{Atividade}(N)}}{\text{IDC}_{\text{Atividade}(N+1)}} \right|, \quad (33)$$

Para a realização dos testes de hipótese, foram utilizadas as variações médias dos projetos executados, usando a equação a seguir:

$$\text{Variação Média do IDC}_{\text{Acum}} = \frac{\sum_1^N \text{Variação IDC}_{\text{Atividade}(N)}}{(N-1)}, \quad (34)$$

A Variação IDC Atividade(N) e a Variação Média foram calculadas para ambas as técnicas. Dessa forma, para medir a precisão das técnicas comparou-se, novamente, a Variação Média do IDC de cada técnica em três momentos distintos dos projetos: (i) próximo do início, após 25% de execução (IDC_{25%}), (ii) no meio do projeto, após 50% de execução (IDC_{50%}) e (iii) próximo do final, após 75% de execução (IDC_{75%}).

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 (WÖHLIN *et al.*, 2000), as possíveis ameaças de um estudo experimental são:

- **Ameaças à Validade Interna:** são eventos não controlados pelo pesquisador, que podem produzir distorções no resultado esperado. Foram consideradas ameaças à validade interna: (i) possíveis erros nas equações que compõe as simulações; (ii) possíveis erros no algoritmo desenvolvido para avaliar alguns resultados das simulações. Para minimizar as ameaças apresentadas em (i) e (ii), o modelo de simulação evoluiu em mais de 30 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 desse capítulo.
- **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 (diferentes percentuais de fases de ciclo de vida conhecidos, com diferentes níveis de desempenho do indicador) 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. Entretanto, foram executados, estudos de caso com base em projetos reais, para permitir a generalização dos resultados. O estudo de caso com projetos reais será apresentado no Capítulo 5.
- **Ameaças à Validade de Conclusão:** prejudicam o estabelecimento de relacionamentos estatísticos. Foram realizados diversos testes estatísticos para as diversas questões e hipóteses levantadas sobre as técnicas propostas. Entretanto, o número de amostras utilizadas foi de 10 projetos, para cada

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. Mas, como a coleta e geração dos indicadores será automatizada na fase de execução dos estudos de caso, entende-se que o tempo gasto será igual ao da técnica anterior.

4.2.1 Caracterização dos Projetos

Uma das principais dificuldades apresentadas por (LIPKE, 2004a, 2004b; IRANMANESH *et al.*, 2007; IRMAN e OW 2009a, 2009b), em estudos relacionados à melhoria da previsibilidade de custo dos projetos, foi a falta de dados de desempenho de projetos, disponíveis para a realização desse tipo de estudo.

Outra dificuldade relacionada ao estudo foi a avaliação de diferentes cenários de projetos, como, por exemplo, o ganho de exatidão e precisão de projetos que tivessem menos ou mais informações históricas disponíveis, bem como a influência da redução da amplitude da variação do IDC_{Acum} , no aumento ou na redução da exatidão e precisão do ENT e IDC_{Acum} .

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, 2004b; IRANMANESH *et al.*, 2007; IRMAN e OW 2009a, 2009b).

Para a simulação foi utilizada a ferramenta *Microsoft Excel*, para gerar e armazenar dados de esforço e consequentemente custo (função aleatório), além de informações de existência ou não de defeitos e o respectivo esforço para corrigí-los. A ferramenta *Microsoft Visual Basic for Application* foi utilizada para a elaboração de macros que

gerassem diversas simulações e as comparassem (feito a partir do segundo estudo de viabilidade) e as ferramentas *RExcel* e *Action* foram utilizadas para as análises estatísticas.

As subseções a seguir apresentam o detalhamento deste estudo de viabilidade, por técnica, incluindo a caracterização do objeto de estudo, seu planejamento, execução, os resultados alcançados e as lições aprendidas.

4.3 Primeiro Estudo de Viabilidade da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})

Os resultados desse estudo de viabilidade foram publicados em (SOUZA, 2012a) e (SOUZA, 2012b).

O primeiro estudo de viabilidade teve como objetivo responder a pergunta principal: “A técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) tradicional apresenta maior Exatidão (menor Erro) da Estimativa No Término (ENT) que a técnica GVA com dados históricos de desempenho de custo (GVA_{HDC})?”

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

- **$H0_{\text{Exatidão}}$** : a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT igual à técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo.
 - $\text{Erro}_{\text{ENT GVA Tradicional}} - \text{Erro}_{\text{ENT GVA HDC}} = 0$

- **$H1_{\text{Exatidão}}$** : a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT inferior à técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo.
 - $\text{Erro}_{\text{ENT GVA Tradicional}} - \text{Erro}_{\text{ENT GVA HDC}} > 0$

Foram definidas ainda mais três questões secundárias, similares à primeira, mas que visam responder se a técnica proposta apresenta melhor exatidão da ENT em relação à técnica tradicional próximo do início (25% executado), no meio (50% executado) e próximo do fim (75% executado) do projeto. Dessa forma as questões secundárias foram definidas como:

“A técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) tradicional apresenta maior Exatidão (menor Erro) da Estimativa No Término (ENT) que a técnica GVA com

dados históricos de desempenho de custo?”(após respectivamente 25%, 50% e 75% do projeto executado)?”

- **H₀Exatidão25%:** a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT igual à técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo.
 - $\text{Erro}_{\text{ENT GVA Tradicional 25\%}} - \text{Erro}_{\text{ENT GVA HDC 25\%}} = 0$
- **H₁Exatidão25%:** a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT inferior à técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo.
 - $\text{Erro}_{\text{ENT GVA Tradicional 25\%}} - \text{Erro}_{\text{ENT GVA HDC 25\%}} > 0$

Foram definidas ainda questões relacionadas a precisão, cujo objetivo era responder: *“A técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) tradicional apresenta maior Precisão (menor variação) do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) que a técnica GVA com dados históricos de desempenho de custo?”*

Foram estabelecidas, as hipóteses para avaliar a Precisão das técnicas:

- **H₀Precisão:** a técnica de GVA tradicional apresenta precisão do IDC_{Acum} igual à técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo.
 - $\text{Variação IDC}_{\text{Acum GVA Tradicional}} - \text{Variação IDC}_{\text{Acum GVA HDC}} = 0$
- **H₁Precisão:** a técnica de GVA tradicional apresenta precisão do IDC_{Acum} inferior à técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo.
 - $\text{Variação IDC}_{\text{Acum GVA Tradicional}} - \text{Variação IDC}_{\text{Acum GVA HDC}} > 0$

Assim como na primeira questão principal, foram definidas novamente mais três questões secundárias, similares à segunda questão principal, mas que visam responder se a técnica proposta apresenta melhor precisão em relação à técnica tradicional próximo do início (25% executado), no meio (50% executado) e próximo do fim (75% executado) do projeto.

Para responder essas perguntas, foram realizadas diversas simulações. A ferramenta *MS Excel* foi utilizada para gerar o esforço planejado (H_{0Est}) e o esforço real (H_{0Reais}) para um conjunto de atividades de possíveis fases do ciclo de vida de um projeto qualquer. Com

base nessas informações, foram gerados os custos planejados e os custos reais (VP_{Acum} e CR_{Acum} , ambos foram calculados com o valor de 50 x as horas estimadas e 50 x as horas reais, respectivamente). A Tabela 4.1 ilustra parte da simulação com os dados de VP_{Acum} , CR_{Acum} e IDC_{Acum} .

Tabela 4.1 – Simulação dos dados de Esforço Estimado, Esforço Real, VP_{Acum} , CR_{Acum} e IDC_{Fases}

$H_{o\ Est}$	$H_{o\ Reais}$	VP_{PI}	CR_{PI}	IDC_{PI}
11	6	132	72	1,833333333
6	3	204	108	1,888888889
4	4	252	156	1,615384615
8	2	348	180	1,933333333
12	2	492	204	2,411764706
6	4	564	252	2,238095238
9	5	672	312	2,153846154
5	10	732	432	1,694444444
10	2	852	456	1,868421053
3	11	888	588	1,510204082
3	7	924	672	1,375
3	4	960	720	1,333333333
3	4	996	768	1,296875
10	9	1116	876	1,273972603
4	3	1164	912	1,276315789
10	3	1284	948	1,35443038
10	7	1404	1032	1,360465116
12	1	1548	1044	1,482758621
12	9	1692	1152	1,46875
5	12	1752	1296	1,351851852
6	7	1824	1380	1,32173913

As simulações iniciais contavam com quatro fases de ciclo de vida e com amplitude na função aleatório, conforme ilustra a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Valores Passados a Função Aleatório para a Simulação Inicial

Fases	Amplitude H_{Est}	Amplitude H_{Reais}	Nro de atividades
Fase 01	8 – 30	3 – 40	12
Fase 02	3 – 10	3 – 10	26
Fase 03	3 – 12	1 – 12	26
Fase 04	3 – 17	1 – 25	26

Assim, os valores relativos às horas reais e horas estimadas, só poderiam variar dentro dos limites especificados, conforme a Tabela 4.2. Foram lançados intervalos diferentes para as horas estimadas e horas reais, para forçar desempenhos, respectivamente, abaixo de 1 e acima de 1 para o IDC_{Acum} de determinadas Fases.

4.3.1 Execução da Simulação de GVA com Dados Históricos dos Indicadores de Desempenho de Custo (IDC_{Acum})

As simulações iniciais contavam com 4 fases de ciclo de vida, e o percentual médio de custo estimado de cada fase de ciclo de vida foi sumarizada, conforme ilustra a Tabela 4.3, para que pudesse ser utilizado na equação proposta no Capítulo 3. Tanto o esforço estimado quanto o real foram gerados aleatoriamente, mas dentro de um limite específico. Assim, os percentuais de esforço e conseqüentemente de custo não eram sempre iguais, mas variavam dentro do limite exibido na Tabela 4.2.

Tabela 4.3– Percentual de Custo de Cada Fase do Ciclo de Vida

Fases	%
Fase 01	19,90%
Fase 02	18,44%
Fase 03	20,44%
Fase 04	41,23%

Foram gerados dados para 10 projetos, os quais foram armazenados em diferentes abas do Excel. O histórico de desempenho de cada fase foi então consolidado em cada aba, de modo que fosse possível consultá-los e utilizá-los para calcular o novo índice, conforme ilustra a Tabela 4.4.

Para medir a exatidão das técnicas avaliadas, foram calculadas as ENT's da técnica tradicional e da técnica proposta, e foram calculados os erros de cada técnica após, 25%, 50% e 75% de execução em relação ao CR_{Acum} final apurado do projeto, utilizando as equações (31) e (32).

Para medir a precisão, foram avaliadas a variação do IDC_{Acum} entre as atividades, conforme ilustra a Tabela 4.5, onde a coluna “Erro total” representa a exatidão da técnica e “Variação” representa a precisão.

Tabela 4.4– Histórico de Indicadores de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) das Fases

Histórico dos processos							
	PROP	GRE	GPR	DES	Teste	Fechamento	Garantia
P1 - CPI_{Acum}							
P2 - CPI_{Acum}	0,757961783	1,331391586	1,25	1,638122605	1,398326655	1,493843284	0,983221477
P3 - CPI_{Acum}	0,663888889	1,021782178	0,815652174	0,919291339	0,895495495	0,955010225	0,967914439
P4 - CPI_{Acum}	1,097674419	0,83655536	0,792880259	1,010040161	0,770979021	0,883928571	1
P5 - CPI_{Acum}	0,848591549	0,82725832	0,7296875	0,949514563	0,810017271	0,941509434	0,930481283
P6 - CPI_{Acum}	0,976190476	0,955307263	1,057613169	0,886855241	0,813953488	0,892045455	1,033707865
P7 - CPI_{Acum}	1,248704663	1,106753813	0,908183633	0,750402576	0,8064	0,950095969	1
P8 - CPI_{Acum}	0,835877863	0,825273011	0,844481605	0,926126126	0,82996633	1,008064516	0,983516484
P9 - CPI_{Acum}	1,222797927	1,191588785	-0,90747331	0,962962963	0,847863248	0,852159468	1,04494382
P10 - CPI_{Acum}	0,698961938	0,816878981	0,962790698	0,841918295	1,041036717	0,886477462	0,941176471
Média	0,927849945	0,990309922	0,918751372	0,987248208	0,912737581	0,984792709	0,987217982
DesvPad	0,219882675	0,18713849	0,157686681	0,255396746	0,19871791	0,196745857	0,038015647

Tabela 4.5– Cálculo dos Erros da ENT e Variação do IDC_{Acum} das Técnicas GVA Tradicional e a Técnica de Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})

Técnica Tradicional				Téc. GVA.D.H.C. (15% de Dados Históricos Disponíveis)			
	$IDC_{AcumFIM}$	0,948956225			$IDC_{AcumFIM}$	1,010846047	
	$IDC_{25\%}$	0,79741885			$IDC_{25\%}$	0,903544378	
	$IDC_{50\%}$	0,801482147			$IDC_{50\%}$	0,952089781	
Variação	$IDC_{75\%}$	0,941526964	Erro Total	Variação	$IDC_{75\%}$	1,009849716	Erro Total
19,0%	Erro / Var 25%	-19,0%	19,0%	11,9%	Erro / Var 25%	-11,9%	11,9%
0,6%	Erro / Var 50%	-18,4%	18,4%	5,7%	Erro / Var 50%	-6,2%	6,2%
17,6%	Erro / Var 75%	-0,8%	0,8%	6,1%	Erro / Var 75%	-0,1%	0,1%
37,2%		-38,2%	38,2%	23,7%		-6,3%	18,1%

Foram assumidas, como premissas para a utilização da técnica proposta, que: (i) os dados históricos de desempenho de custo das fases que estavam em execução estavam disponíveis, e (ii) o IDC_{Acum} das fases apresentavam uma grande variação em relação ao IDC_{Acum} do projeto.

As equações de (1) a (15) (Capítulos 2 e 3) foram aplicadas aos dados gerados pela simulação, para calcular os IDC_{Acum} e as ENT de cada uma das técnicas.

Finalmente, os dados de Exatidão (Erro) e de Precisão (Variação) entre as ENT's e os IDC_{Acum} dos 10 projetos avaliados foram reunidos em uma única aba da planilha, permitindo assim a realização de análises estatísticas, conforme ilustram as Tabela 4.6 e Tabela 4.7.

Tabela 4.6– Exatidão das Técnicas (Erro entre a Estimativa No Término (ENT) e o Custo Real (CR_{Acum}) medido no final da execução do projeto)

Exatidão das Técnicas - Erro entre as estimativas												
Técnica	Momento	Projeto01	Projeto02	Projeto03	Projeto04	Projeto05	Projeto06	Projeto07	Projeto08	Projeto09	Projeto10	Média
EVM Tradicional	25% Exec	7,2%	2,4%	0,2%	5,6%	29,8%	2,4%	2,0%	9,6%	18,8%	15,4%	9,35%
EVM Hist. Desmp.		0,3%	7,4%	2,9%	3,0%	13,9%	6,0%	0,5%	9,7%	5,9%	5,3%	5,48%
EVM Tradicional	50% Exec	4,4%	12,2%	9,2%	6,1%	21,3%	3,7%	5,7%	12,5%	9,4%	6,3%	9,08%
EVM Hist. Desmp.		0,9%	8,9%	0,5%	1,6%	12,4%	5,1%	1,5%	9,2%	2,9%	2,4%	4,54%
EVM Tradicional	75% Exec	11,5%	16,5%	15,3%	10,2%	19,3%	14,1%	16,0%	21,3%	10,5%	10,1%	14,48%
EVM Hist. Desmp.		0,3%	7,0%	2,2%	1,4%	8,8%	5,0%	3,9%	10,5%	0,8%	1,7%	4,18%
EVM Tradicional	Total	23,2%	31,2%	24,8%	22,0%	70,4%	20,1%	23,7%	43,4%	38,7%	31,7%	32,91%
EVM Hist. Desmp.		1,6%	23,3%	5,6%	6,1%	35,1%	16,1%	5,9%	29,3%	9,5%	9,4%	14,19%

Tabela 4.7 – Precisão das Técnicas (Variação entre as medidas do IDC_{Acum(N)} e IDC_{Acum(N+1)})

Precisão das Técnicas - Variabilidade entre as estimativas												
Técnica	Momento	Projeto01	Projeto02	Projeto03	Projeto04	Projeto05	Projeto06	Projeto07	Projeto08	Projeto09	Projeto10	Média
EVM Tradicional	25% Exec	-7,2%	2,4%	0,2%	5,6%	29,8%	-2,4%	-2,0%	9,6%	18,8%	-15,4%	3,95%
EVM Hist. Desmp.		0,3%	7,4%	-2,9%	3,0%	13,9%	6,0%	0,5%	9,7%	5,9%	5,3%	4,90%
EVM Tradicional	50% Exec	-11,6%	-9,8%	-9,0%	-0,5%	8,5%	-6,1%	-7,7%	-2,9%	9,4%	-9,1%	-3,87%
EVM Hist. Desmp.		-0,6%	-1,5%	-3,4%	1,3%	1,5%	0,9%	-1,0%	0,5%	3,0%	2,8%	0,37%
EVM Tradicional	75% Exec	-7,1%	-4,3%	-6,1%	-4,1%	1,9%	-10,4%	-10,3%	-8,8%	-1,1%	-16,3%	-6,66%
EVM Hist. Desmp.		1,2%	1,9%	-1,7%	3,1%	3,5%	0,1%	-2,4%	-1,4%	3,7%	0,7%	0,86%
EVM Tradicional	Total	-26,0%	-11,6%	-14,9%	1,0%	40,2%	-18,8%	-20,0%	-2,0%	27,1%	-40,8%	-6,58%
EVM Hist. Desmp.		1,0%	7,8%	-7,9%	7,4%	18,9%	7,0%	-3,0%	8,9%	12,6%	8,8%	6,13%

4.3.3 Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})

Nas simulações realizadas a técnica proposta apresentou exatidão e precisão das estimativas de custo melhores que a técnica tradicional, conforme ilustram as Figuras 4.1 e 4.2.

A Figura 4.1 apresenta no eixo X cada um dos 10 projetos avaliados e no eixo Y a soma dos erros do ENT_{25%}, ENT_{50%} e ENT_{75%} para cada um dos projetos. O erro da ENT

utilizando a técnica proposta foi 15 vezes menor do que o erro apresentado pela técnica tradicional, no projeto 01, o que sugere que a técnica proposta foi 15 vezes mais exata que a técnica tradicional, considerando o cenário apresentado nessa primeira simulação. O ganho mínimo observado foi de 4% de exatidão, no projeto 06.

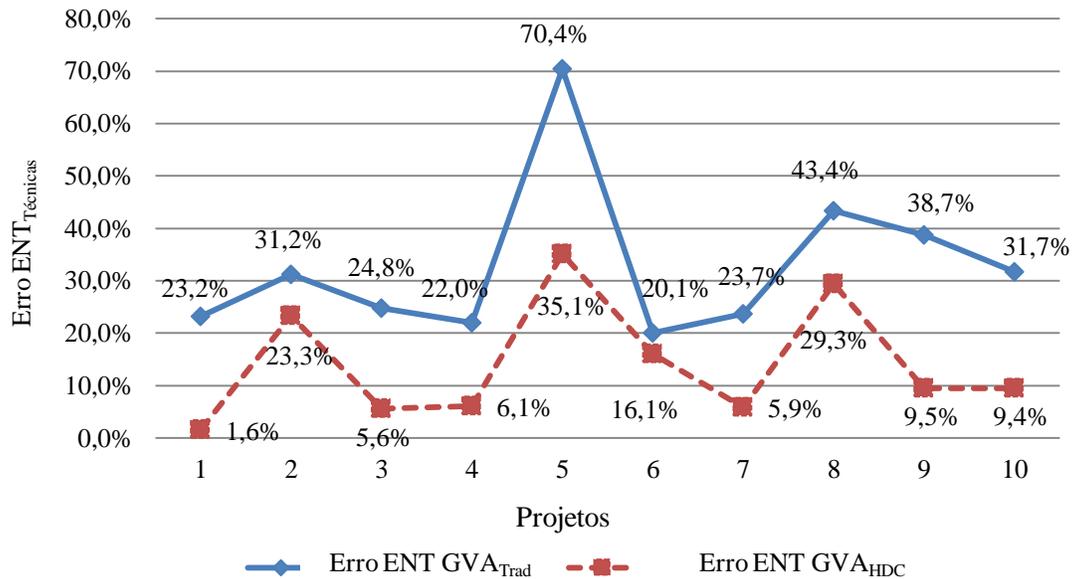


Figura 4. 1 – Exatidão – Erro Total da ENT Entre as Técnicas

Foram realizados diversos testes estatísticos, com base na Tabela 4.6 e da Tabela 4.7, para confirmar se as diferenças de exatidão e de precisão encontradas na aplicação das técnicas foram significativas, aprovando ou rejeitando as hipóteses apresentadas anteriormente. A ferramenta Action foi utilizada para a realização dos testes de hipóteses de T amostras pareadas, com o nível de significância de 95%.

Segundo LARSON (2004), os valores mais importantes em um teste de hipótese são os valores de T e p. O valor de T diz respeito ao nível de significância escolhido e é refletido na Tabela T *Student* (escolhida em decorrência do número pequeno de amostras).

Assim, para qualquer resultado que apresente valor de T maior que 2,228 e valor de p menor que 0,05 deve-se considerar refutar H0 e aceitar H1.

A análise dos dados contidos nas Tabela 4.6 e 4.8 oferecem indícios de que a técnica proposta provê maior exatidão das Estimativas de Custo No Término (ENT's), quando o projeto foi 50% e 75% executado, e no geral, considerando os três momentos reportados, com 95% de significância. Ainda que os resultados apresentados na Tabela 4.6 mostrem

que a técnica proposta apresenta um erro médio inferior ao da técnica tradicional, quando o projeto foi 25% executado, esse resultado não é significativo, segundo o teste de hipótese realizado.

Tabela 4.8– Testes de Hipótese de Exatidão (ENT) com 95% de Nível de Significância

Hipótese	Teste	T	Valor de p	Conclusão
$H_{0\text{Exatidão}}$	$\text{Erro}_{\text{ENTGVA Tradicional}} - \text{Erro}_{\text{ENTGVAH.D.C.}} = 0$	3,59	0,00292	Refutar H_0
$H_{0\text{Exatidão}25\%}$	$\text{Erro}_{\text{ENTGVATradicional } 25\%} - \text{Erro}_{\text{ENTGVAH.D.C. } 25\%} = 0$	2,21	0,0269	Aceitar H_0
$H_{0\text{Exatidão}50\%}$	$\text{Erro}_{\text{ENT GVA Tradicional}50\%} - \text{Erro}_{\text{ENT GVA H.D.C. } 50\%} = 0$	4,809	0,00048	Refutar H_0
$H_{0\text{Exatidão}75\%}$	$\text{Erro}_{\text{ENT GVA Tradicional } 75\%} - \text{Erro}_{\text{ENT GVA H.D.C. } 75\%} = 0$	21,27	$2,63 \times 10^{-9}$	Refutar H_0

Já a variação do IDC_{Acum} , apresentado nas Figura 4.2 e Figura 4.3, foi 25 vezes menor do que o apresentado pela técnica tradicional, também no projeto 01, o que sugere que a técnica proposta foi 25 vezes mais precisa do que a tradicional, considerando o cenário apresentado nessa primeira simulação.

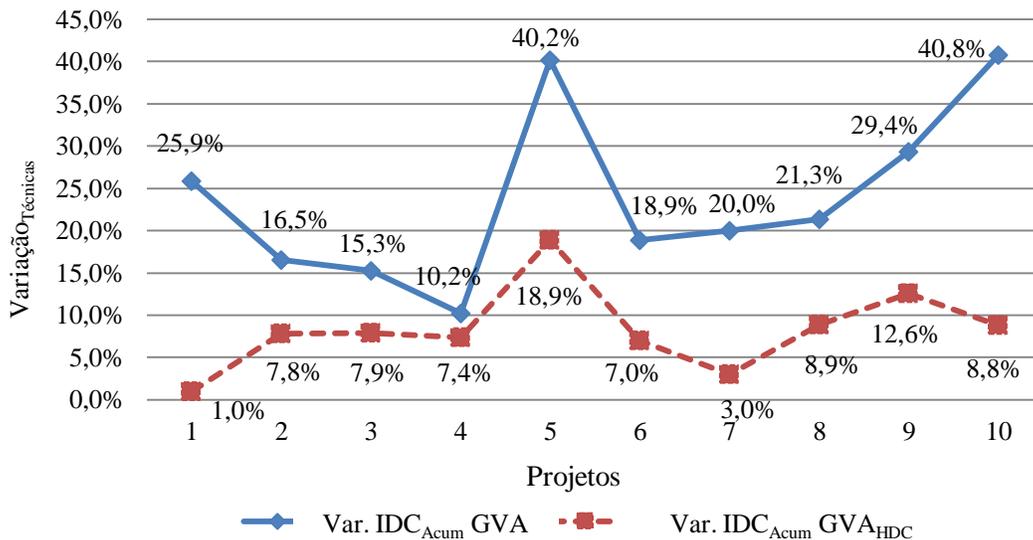


Figura 4.2– Precisão – Variação Total IDC_{Acum} das Técnicas $\text{GVA}_{\text{Tradicional}}$ e GVA_{HDC}

Na Figura 4.3, os valores exibidos no eixo Y representam a soma das variações entre as estimativas em $IDC_{25\%}$, $IDC_{50\%}$ e $IDC_{75\%}$. O desvio padrão encontrado para a variação do IDC_{Acum} entre as técnicas também sugere que a técnica proposta apresenta maior precisão em relação à tradicional, conforme ilustra a Figura 4.4.

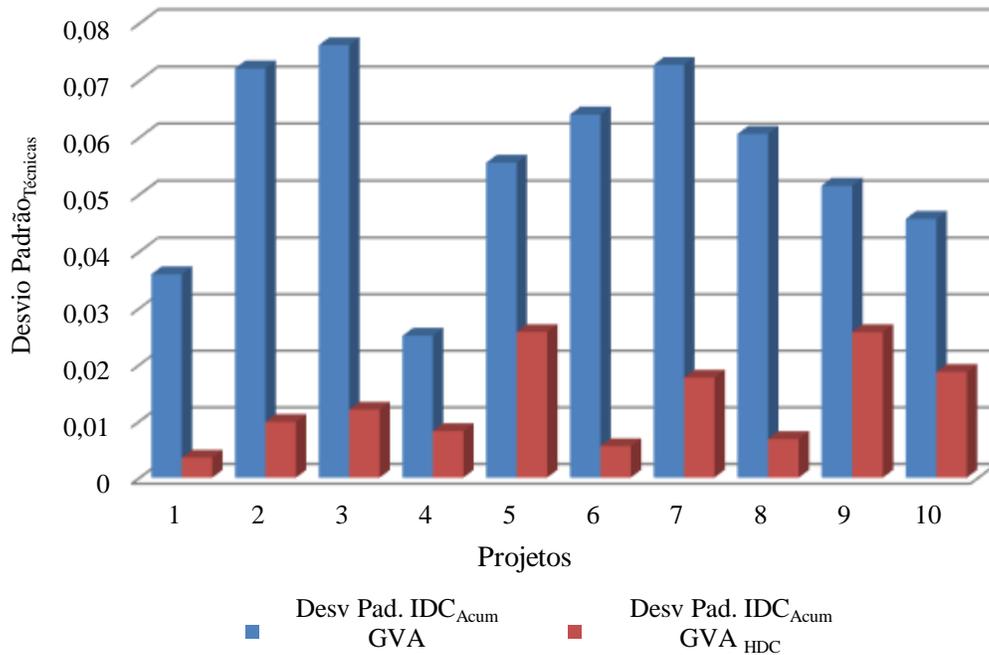


Figura 4.3 –Desvio Padrão das Medições do IDC_{Acum} das Técnicas $GVA_{Tradicional}$ e GVA_{HDC}

A análise dos dados contidos na Tabela 4.7 e na Tabela 4.9 também fornecem indícios de que a técnica proposta provê maior precisão (menor variação) do IDC_{Acum} , quando o projeto possui 50% e 75% de execução, e no geral, considerando os três momentos reportados, com 95% de significância. Ainda que os resultados apresentados na Tabela 4.7 também mostrem a técnica proposta apresentando variação média inferior ao da técnica tradicional, quando o projeto foi 25% executado, esse resultado não é significativo, segundo o teste de hipótese realizado.

Tabela 4.9– Testes de Hipótese de Precisão (IDC_{Acum})

Hipótese	Teste	T	Valor de p	Conclusão
$H0_{Precisão}$	$Variação_{IDCGVA_{Tradicional}} - Variação_{IDCGVA_{HDC}} = 0$	5,602	0,00016	Refutar $H0$
$H0_{Precisão\ 25\%}$	$Variação_{IDCGVA_{Tradicional\ 25\%}} - Variação_{IDCGVA_{HDC\ 25\%}} = 0$	1,684	0,0632	Aceitar $H0$
$H0_{Precisão\ 50\%}$	$Variação_{IDCGVA_{Tradicional\ 50\%}} - Variação_{IDCGVA_{HDC\ 50\%}} = 0$	5,736	0,00014	Refutar $H0$
$H0_{Precisão\ 75\%}$	$Variação_{IDCGVA_{Tradicional\ 75\%}} - Variação_{IDCGVA_{HDC\ 75\%}} = 0$	2,882	0,009	Refutar $H0$

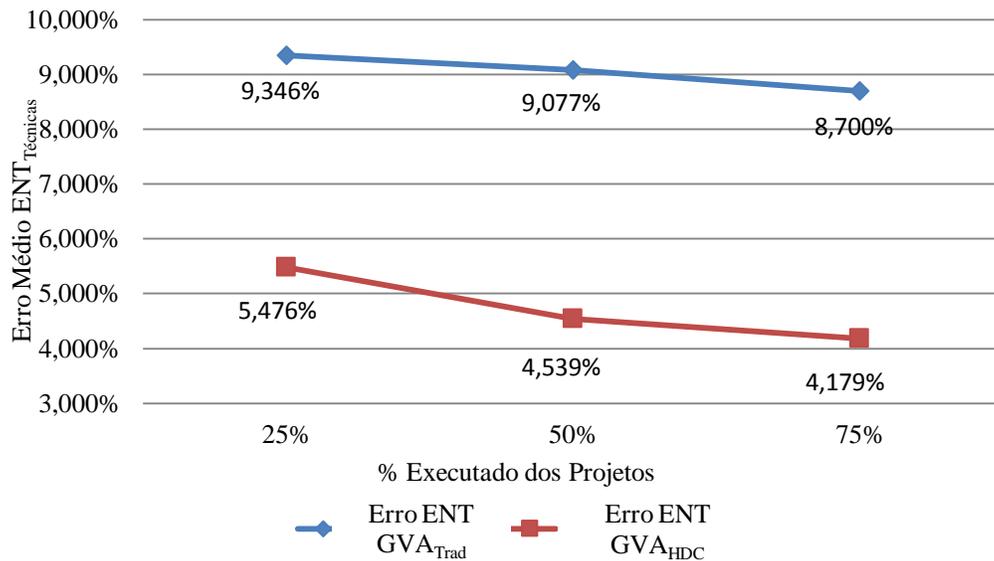


Figura 4.4– Erro Médio no Início, Meio e Fim dos Projetos ($ENT_{25\%}$, $ENT_{50\%}$ e $ENT_{75\%}$)

Por fim, a Figura 4.4 indica que ambas as técnicas apresentam aumento de exatidão e precisão quando o projeto avança em sua execução, conforme reportado por diversos autores como (CHRISTENSEN *et al.*, 1993; LIPKE, 2006a; HENDERSON e ZWIKAEL, 2008). Entretanto, a técnica proposta apresenta melhor exatidão e precisão média no início, no meio e no final do projeto.

4.3.4 Lições Aprendidas com a Utilização da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})

Os ganhos apresentados de precisão e exatidão, apresentados pela técnica proposta, somados aos testes de hipótese realizados, permitem concluir que esta técnica é viável e que a continuação da pesquisa é justificável.

Os testes de hipótese fornecem indícios de que a técnica oferece melhor exatidão e precisão quando o projeto foi 50% e 75% executado e no geral (considerando os três momentos reportados). O resultado de exatidão apresentado para 25% executado não foi significativo, ainda que a média apresentasse resultado positivo.

Entretanto, após a realização do primeiro estudo de viabilidade, novas questões, relacionadas às premissas utilizadas para a realização do primeiro estudo de viabilidade, foram levantadas pelo pesquisador. Entre elas: (i) qual o percentual mínimo de dados históricos de desempenho de custo que é necessário ter disponível para que a técnica seja viável dado que é pouco provável que uma empresa tenha dados históricos de desempenho de custo de todas as fases de ciclo de vida; e (ii) se houver redução da variação do IDC_{Acum} nas fases, isso representará algum ganho de precisão e de exatidão?

Dessa forma, o segundo estudo de viabilidade teve como objetivo responder a essas duas questões.

4.4 Segundo Estudo de Viabilidade da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})

As ferramentas e a metodologia utilizada para o segundo estudo de viabilidade foram as mesmas do primeiro estudo de viabilidade. Entretanto, as premissas utilizadas para gerar a simulação foram alteradas.

O cálculo do IDC_{Acum} da nova técnica passou a considerar que a equipe de gerência de projetos tinha dados históricos de uma única fase do ciclo de vida, e que essa fase correspondia a um baixo percentual do custo global do projeto. O objetivo de se considerar este cenário foi identificar o percentual mínimo que uma fase deve ter para apresentar algum ganho de exatidão e precisão utilizando a técnica proposta.

Para isso, a função aleatória utilizada na simulação para gerar as horas estimadas e as horas reais, base da estimativa de custo, foi revista de modo a atender aos novos objetivos propostos. Foram, também, adicionadas mais fases, para que fosse possível avaliar o comportamento da técnica ao se aumentar o percentual conhecido da fase. A Tabela 4.10 mostra os dados utilizados para realizar esta simulação.

Tabela 4.10– Valores Passados a Função Aleatório Para a Simulação Inicial

Fases	Amplitude H_{Est}	Amplitude H_{Reais}	Nro de atividades
Fase 01	8 – 30	3 – 40	12
Fase 02	8 – 30	3 – 40	26
Fase 03	8 – 30	3 – 40	26
Fase 04	8 – 30	3 – 40	26
Fase 05	8 – 30	3 – 40	26
Fase 06	8 – 30	3 – 40	26
Fase 07	9 – 14	9 – 14	26

Os limites de variação da função aleatória das seis fases iniciais foram definidos com o intuito de apresentar grande variação, e a última fase foi definida com o objetivo de apresentar menor variação do IDC_{Acum} .

Assim, as simulações e os testes de hipótese foram realizados considerando que a equipe de gerência de projetos conhecia apenas a última fase, que correspondia inicialmente a algo entre 5% e 8% do custo total do projeto.

As hipóteses foram reformuladas com uma pequena alteração, considerando o percentual conhecido. Dessa forma, a questão principal avaliada foi:

“A técnica de GVA Tradicional apresenta maior exatidão para a Estimativa No Término (ENT) do que a técnica de GVA com dados Históricos de Desempenho de Custo, quando se tem disponível apenas X% de dados Históricos de Desempenho de Custo disponíveis?”

Dessa forma, foram estabelecidas as seguintes hipóteses:

- **$H_{0ExatidãoX\%}$** : a técnica de GVA Tradicional apresenta Exatidão da ENT igual à técnica de GVA com dados Históricos de Desempenho de Custo, quando tenho x% de dados Históricos de Desempenho de Custo disponíveis.

$$\circ \text{ Erro}_{\text{ENTGVATradicional}} - \text{Erro}_{\text{ENTGVA HDCX\%}} = 0$$

- **H1_{Exatidão}**: a técnica de GVA Tradicional apresenta Exatidão da ENT inferior à técnica de GVA com dados Históricos de Desempenho de Custo, quando tenho x% de dados Históricos de Desempenho de Custo disponíveis.

$$\circ \text{ Erro}_{\text{ENTGVATradicional}} - \text{Erro}_{\text{ENTGVA HDC X\%}} > 0$$

As mesmas questões relacionadas a precisão e exatidão, foram consideradas na avaliação. Além disso, foram ainda consideradas questões relacionadas a exatidão e precisão quando o projeto foi 25%, 50% e 75% executado. Os resultados de todos os testes de hipóteses realizados serão reportados a seguir. As questões de pesquisa não foram repetidas, por não terem sofrido alteração.

4.4.1 Execução da Simulação de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})

As premissas avaliadas no primeiro estudo não eram suficientes para garantir que a técnica proposta fosse eficiente em projetos reais, nos quais não se tem dados históricos de todas as fases utilizadas na execução de um projeto.

Dessa forma, como o objetivo do segundo estudo era identificar o percentual mínimo de dados históricos que um projeto deveria ter, e sua variação máxima, para que a técnica proposta traga melhores resultados, a simulação estabeleceu como referência, que a equipe só conhecia o equivalente a aproximadamente 5% dos dados históricos de desempenho de custos (IDC_{Acum}) de uma única fase. E essa fase apresentava variação de mais ou menos 20% (amplitude de 40%) do IDC_{Acum}. Essa fase, também, seria a última a ser executada no ciclo de vida do projeto. Esses valores de 5% de percentual conhecido e 40% de amplitude foram estabelecidos como valores iniciais por conveniência.

4.4.2 Resultados Obtidos com a Utilização da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})

A simulação mostrou que a técnica apresentou um ganho de exatidão médio de cerca de 2,4%, conforme ilustram a Tabela 4.11 e 4.12 que mostram os erros nas

estimativas entre as técnicas GVA Tradicional e GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo.

Tabela 4.11– Comparação de Erro da Estimativa No Término (ENT) entre as Técnicas GVA_{Trad} e GVA_{HDC}

Técnica	Projeto01	Projeto02	Projeto03	Projeto04	Projeto05	Projeto06
GVA Trad	34,9%	25,4%	11,2%	21,7%	11,5%	9,7%
GVA HDC	33,4%	23,5%	10,4%	19,8%	10,7%	9,5%

A diferença entre os erros apresentados em alguns projetos foi pequena, como por exemplo, nos projetos 06 e 09. Em função disso, foi realizada uma simulação de 100.000 casos visando identificar se, em algum desses casos os erros apresentados pela técnica proposta apresentariam resultados piores do que os da técnica tradicional. A simulação dos 100.000 casos foi realizada utilizando uma macro desenvolvida na ferramenta *Visual Basic for Application*, e os resultados obtidos estão nas Tabela 4.13, 4.14 e 4.15.

Tabela 4.12– Comparação de Erro da Estimativa No Término (ENT) entre as Técnicas GVA_{Trad} e GVA_{HDC}

Técnica	Projeto07	Projeto08	Projeto09	Projeto10	Desvio Padrão	Média
GVA Trad	7,7%	47,3%	9,9%	13,3%	0,13114	19,3%
GVA HDC	6,6%	42,8%	9,8%	12,3%	0,12004	17,9%

Nessas simulações foram avaliados: (i) qual o percentual de casos nos quais a técnica proposta apresentou melhores resultados de exatidão do que a técnica tradicional, após 25%, 50% e 75% de execução, e considerando a soma desses três momentos, (ii) de quanto foi o ganho médio de exatidão da técnica proposta nesses três momentos e no total; (iii) percentual de casos nos quais a técnica proposta apresentou melhores resultados de precisão do que a técnica tradicional, após 25%, 50% e 75% de execução, e considerando a soma desses três momentos, e (iv) de quanto foi o ganho médio de precisão da técnica proposta nesses três momentos e no total. Para os casos nos quais a técnica proposta foi pior que a tradicional, a macro também computou quão pior a técnica proposta foi.

A Tabela 4.13 mostra que, em 100% das simulações conduzidas, a técnica de GVA_{HDC} obteve redução de 0,80% do Erro Médio em relação à técnica tradicional, quando

o projeto estava com 25% e 50% de execução. Quando o projeto estava com 75% de execução, a técnica GVA_{HDC} obteve redução de 0,05% do Erro Médio, em 56% das simulações conduzidas.

Tabela 4.13– Ganho de Exatidão (Redução do Erro Médio) na Estimativa No Término (ENT) da Técnica de GVA_{HDC} em 25%, 50% e 75% de Execução do Projeto, em Relação à GVA_{Trad}

Percentual de Casos Nos Quais o Erro Médio (Exatidão) de $GVA_{Trad} > GVA_{HDC}$						
Erro ou Exatidão	25% Exec	Ganho de Exatidão	50% Exec	Ganho de Exatidão	75% Exec	Ganho de Exatidão
$GVA_{Trad} > GVA_{HDC}?$	100,00%	0,80%	100,00%	0,80%	56,00%	0,05 %

A técnica proposta se mostrou mais exata no final do projeto em poucos casos e isso se deve, principalmente, a redução da variação do IDC_{Acum} no final da execução dos projetos, fato também observado por como (CHRISTENSEN *et al.*, 1993; LIPKE, 2006a; HENDERSON e ZWIKAEEL, 2008).

Portanto, no geral, considerando-se o ganho ou perda de exatidão das técnicas nos três momentos distintos (a soma dos três erros), houve redução do erro médio de 1,60% da técnica GVA_{HDC} em 100% dos casos avaliados, como mostra a Tabela 4.14. Assim como na primeira simulação, observou-se que em ambas as técnicas houve um aumento de exatidão quando o projeto aproximava-se do fim.

Tabela 4.14– Ganho de Exatidão (Redução do Erro Médio) na Estimativa No Término (ENT) da Técnica de GVA_{HDC} em 25%, 50% e 75% de Execução do Projeto, em Relação à GVA_{Trad}

Testes	Resultado Final	
	Erro médio $GVA_{Trad} > GVA_{HDC}$	Ganho de Exatidão Total
$GVA_{Trad} > GVA_{HDC}?$	100,00%	1,60%

A simulação, também, apontou que houve, ganho de precisão (Redução da Variação do IDC_{Acum}) em 100% dos casos, quando o projeto estava com 25%, 50% e 75% de execução, ocorrendo redução da variação do IDC_{Acum} de 0,80%, 0,36% e 0,14%,

respectivamente. A redução total de variação no IDC_{Acum} foi de 1,30%, conforme mostra a Tabela 4.14.

Tabela 4.15– Ganho de Precisão (Redução da Variação do IDC_{Acum}) da Técnica de GVA_{HDC} em Relação à GVA_{Trad}

Precisão ou Var.	Ganho de Precisão Durante a Execução do Projeto						Resultado Final
	25%	Ganho de Precisão	50%	Ganho de Precisão	75%	Ganho de Precisão	Ganho Total de Precisão
GVA _{Trad} > GVA _{HDC} ?	100%	0,80%	100%	0,36%	100%	0,14%	1,30%

Como houve algum ganho de exatidão (redução do erro médio do ENT) e de precisão (redução da variação do IDC_{Acum}) na aplicação da técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo, o percentual de dados históricos de desempenho de custo disponível foi reduzido progressivamente para cerca de 3%, 2% e até para 1,5% (para isso a função aleatório recebeu os valores de 6 – 8 para as horas estimadas e reais). Em todas as simulações ainda ocorreram ganhos de exatidão e de precisão entre as três medições previstas (redução do erro médio da ENT de 1,08%, 0,80% e 0,50% e redução da variação do IDC_{Acum} de 0,95%, 0,68% e 0,44%, respectivamente).

Foram ainda realizados os testes de hipótese para confirmar se o ganho de exatidão da ENT e de precisão do IDC_{Acum} da técnica proposta com 1,5% de dados históricos disponível era significativo. Foram utilizados os dados presentes na amostra da Tabela 4.16.

Tabela 4.16– Exatidão do ENT Entre Projetos que Utilizam a Técnica de GVA_{Trad} e GVA_{HDC}

Técnica	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Trad. Total	3,8%	15,8%	30,0%	21,7%	24,5%	24,8%	23,4%	19,4%	26,6%	7,9%
HDC Total	3,6%	14,5%	28,8%	20,8%	23,0%	23,9%	22,6%	19,7%	25,6%	7,2%
Trad. 25%	1,8%	7,9%	16,3%	8,6%	14,2%	12,3%	7,5%	9,2%	11,1%	0,5%
HDC 25%	1,6%	7,4%	15,4%	8,0%	13,5%	11,6%	7,1%	9,3%	10,4%	0,0%
Trad. 50%	1,2%	6,3%	11,0%	11,8%	9,8%	10,0%	14,3%	2,8%	14,9%	5,8%
HDC 50%	1,0%	5,8%	10,3%	11,1%	9,3%	9,4%	13,7%	2,9%	14,2%	5,1%
Trad. 75%	0,8%	1,6%	2,8%	1,3%	0,5%	2,5%	1,6%	7,4%	0,7%	1,6%
HDC 75%	0,9%	1,2%	3,1%	1,6%	0,2%	2,8%	1,9%	7,5%	1,0%	2,1%

Tabela 4.17– Testes de Hipótese de Exatidão do ENT para 1,5% Conhecido de IDC_{Acum} da Fase

Hipótese	Teste	T	Valor de p	Conclusão
$H0_{ExatidãoTotal}$	$Erro_{ENTGVATradicional} - Erro_{ENTGVAHDC} = 0$	5,063	0,000339	Refutar $H0$
$H0_{Exatidão25\%}$	$Erro_{ENTGVATradicional\ 25\%} - Erro_{ENTGVA\ HDC\ 25\%} = 0$	6,089	$9,07 \times 10^{-9}$	Refutar $H0$
$H0_{Exatidão50\%}$	$Erro_{ENTGVATradicional\ 50\%} - Erro_{ENTGVA\ HDC\ 50\%} = 0$	5,491	0,000192	Refutar $H0$
$H0_{Exatidão75\%}$	$Erro_{ENTGVATradicional\ 75\%} - Erro_{ENTGVA\ HDC\ 75\%} = 0$	-1,766	0,944	Aceitar $H0$

Os resultados dos testes de hipótese sobre a amostra exibida na Tabela 4.16 são exibidos na Tabela 4.17.

A análise dos dados contidos na Tabela 4.17, fornecem indícios de que a técnica proposta provê maior exatidão das estimativas de custo, quando o projeto foi 25% e 50% executado, e no geral, considerando os três momentos reportados, com 95% de significância. E, conforme esperado, o ganho de exatidão da técnica proposta, após 75% do projeto ter sido executado, não foi significativo, segundo o teste de hipótese realizado.

Foram ainda realizados os testes de hipótese para confirmar se o ganho de precisão da técnica com 1,5% do IDC_{Acum} da fase conhecido era significativo. Foram utilizados os dados presentes na amostra da Tabela 4.18.

Tabela 4.18– Amostra de Precisão do IDC_{Acum} entre Projetos que Utilizam a Técnica de GVA_{Trad} e GVA_{HDC}

Técnica	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Trad. Total	20,0%	16,3%	12,7%	24,2%	10,2%	13,0%	11,2%	13,9%	16,8%	6,5%
HDC Total	19,8%	16,1%	12,6%	23,7%	10,0%	12,8%	11,1%	13,6%	16,5%	6,4%
Trad. 25%	7,2%	8,1%	2,3%	18,6%	1,3%	1,4%	3,9%	4,0%	7,8%	1,7%
HDC 25%	7,2%	8,1%	2,4%	18,2%	1,3%	1,4%	3,9%	3,9%	7,6%	1,6%
Trad. 50%	12,0%	8,1%	7,9%	4,3%	8,0%	9,1%	4,2%	7,1%	4,9%	3,0%
HDC 50%	11,8%	8,0%	7,7%	4,2%	7,8%	8,9%	4,1%	7,0%	4,8%	3,0%
Trad. 75%	0,9%	0,0%	2,6%	1,3%	0,9%	2,4%	3,2%	2,7%	4,1%	1,8%
HDC 75%	0,9%	0,0%	2,5%	1,3%	0,9%	2,4%	3,1%	2,7%	4,0%	1,8%

Os resultados dos testes de hipótese sobre a amostra exibida na Tabela 4.18 são exibidos na Tabela 4.19.

Tabela 4.19– Testes de Hipótese de Precisão para 1,5% do IDC_{Acum} da Fase Conhecido

Hipótese	Teste	T	Valor de p	Conclusão
H0 PrecisãoTotal	$Var_{ENTGVATradicional} - Var_{ENTGVAHDC} = 0$	5,818	$1,27 \times 10^{-5}$	Refutar H0
H0 Precisão 25%	$Var_{ENTGVATradicional\ 25\%} - Var_{ENTGVAHDC}$ $25\% = 0$	1,287	0,115	Aceitar H0
H0 Precisão 50%	$Var_{ENTGVATradicional\ 50\%} - Var_{ENTGVAHDC}$ $50\% = 0$	7,766	$1,40 \times 10^{-5}$	Refutar H0
H0 Precisão 75%	$Var_{ENTGVATradicional\ 75\%} - Var_{ENTGVAHDC}$ $75\% = 0$	5,202	0,00028	Refutar H0

A análise dos dados contidos na Tabela 4.19 fornece indícios de que a técnica proposta provê maior precisão das estimativas de custo, quando o projeto foi 50% e 75% executado, e no geral, considerando os três momentos reportados, com 95% de significância. O ganho de exatidão da técnica proposta, após 25% de execução do projeto, não foi significativo, segundo o teste de hipótese realizado.

4.4.3 Lições Aprendidas com o Segundo Estudo de Caso

Os ganhos consideráveis de precisão e exatidão apresentados pela técnica proposta, permitem concluir que ela é viável, mesmo quando a equipe de gerência de projetos possui poucos dados históricos de desempenho de custo disponíveis.

Entretanto, após a realização do segundo estudo de viabilidade, novas questões foram levantadas pelo pesquisador. Essas questões estavam relacionadas à influência do percentual de dados históricos disponíveis e a estabilidade desses dados. As questões identificadas foram as seguintes: (i) qual o ganho de exatidão e precisão da técnica proposta quando há o aumento da quantidade de dados históricos de desempenho de custo disponíveis?; e (ii) qual o ganho ou perda de exatidão e precisão da técnica proposta quando há o aumento da variação do IDC_{Acum} das fases utilizadas pela técnica (aumento da amplitude do IDC_{Acum} das fases)?

Dessa forma, o terceiro estudo de viabilidade consistiu basicamente em responder a essas questões.

4.5 Terceiro Estudo de Viabilidade da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})

O terceiro estudo de viabilidade avaliou se haveria ganho ou perda de exatidão e de precisão, se o percentual conhecido da fase e sua variação fossem aumentados progressivamente. Para isso foram realizadas as simulações ilustradas na Tabela 4.20.

Foram identificadas as seguintes hipóteses quando há aumento da quantidade de dados históricos de desempenho de custo disponíveis:

As hipóteses para exatidão são:

- $H0_{Exatidão}$: a técnica proposta não apresenta ganho de exatidão na ENT quando há o aumento da quantidade de dados históricos de desempenho de custo disponíveis.
 - $ERRO_{ENTGVA\ HDC\ Cenário01} - ERRO_{ENTGVA\ HDC\ Cenário02} = 0$

- $H1_{Exatidão}$: a técnica proposta apresenta ganho de exatidão na ENT quando há o aumento da quantidade de dados históricos de desempenho de custo disponíveis.
 - $ERRO_{ENTGVA\ HDC\ Cenário01} - ERRO_{ENTGVA\ HDC\ Cenário02} > 0$

Onde cenário 01 e cenário 02 representam aumento na quantidade de dados de desempenho de custo disponíveis (5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30%). Os cenários que foram testados são ilustrados na Tabela 4.20.

As hipóteses para precisão são:

- $H0_{Precisão}$: a técnica proposta não apresenta ganho de precisão do IDC_{Acum} quando há o aumento da quantidade de dados históricos de desempenho de custo disponíveis.
 - $Variacão_{IDCGVA\ HDC\ Cenário01} - Variacão_{IDCGVA\ HDC\ Cenário02} = 0$

- $H1_{Precisão}$: a técnica proposta apresenta ganho de precisão do IDC_{Acum} quando há o aumento da quantidade de dados históricos de desempenho de custo disponíveis.
 - $Variacão_{IDCGVA\ HDC\ Cenário01} - Variacão_{IDCGVA\ HDC\ Cenário02} > 0$

Tabela 4.20– Simulações Com Aumento do Percentual de Dados Históricos de Desempenho de Custo Disponíveis e Aumento da Amplitude do IDC_{Acum} da Fase

Simulações realizadas							
	% de Dados Históricos de IDC _{Acum} Disponíveis						
		5%	10%	15%	20%	25%	30%
Amplitude	20%	S05x20	S10x20	S15x20	S20x20	S25x20	S30x20
do IDC _{Acum} da fase	40%	S05x40	S05x10	S05x15	S05x20	S05x25	S05x30

Também foram identificadas hipóteses para a redução da amplitude das fases, relacionadas à exatidão e a precisão, conforme segue:

As hipóteses para exatidão são:

- H0_{Exatidão}: a técnica proposta não apresenta ganho de exatidão da ENT quando há redução da amplitude do IDC_{Acum} utilizado como dado histórico de desempenho de custo para a realização das estimativas.
 - $\text{Erro}_{\text{ENTGVA HDC Cenário01}} - \text{Erro}_{\text{ENTGVA HDC Cenário02}} = 0$
- H1_{Exatidão}: a técnica proposta apresenta ganho de exatidão da ENT quando há redução da amplitude do IDC_{Acum} utilizado como dado histórico de desempenho de custo para a realização das estimativas.
 - $\text{Erro}_{\text{ENTGVA HDC Cenário01}} - \text{Erro}_{\text{ENTGVA HDC Cenário02}} > 0$

Onde: cenário 01 e cenário 02 representam a redução da amplitude do IDC_{Acum} das fases, relacionados aos dados de desempenho de custo disponíveis (20% e 40%). Os cenários que foram testados são ilustrados na Tabela 4.20.

As hipóteses para precisão são:

- H0_{Precisão}: a técnica proposta não apresenta ganho de precisão do IDC_{Acum} quando há redução da amplitude do IDC_{Acum} utilizado como dado histórico de desempenho de custo para a realização das estimativas.
 - $\text{Variação}_{\text{IDC GVA HDC Cenário01}} - \text{Variação}_{\text{IDC GVA HDC Cenário02}} = 0$

- $H1_{Precisão}$: a técnica proposta apresenta ganho de precisão do IDC_{Acum} quando há redução da amplitude do IDC_{Acum} utilizado como dado histórico de desempenho de custo para a realização das estimativas.
 - $Variação_{IDC\ GVA\ HDC\ Cenário01} - Variação_{IDC\ GVA\ HDC\ Cenário02} > 0$

A seguir são descritos os resultados obtidos com a utilização das técnicas.

4.5.1 Resultados Obtidos com a Utilização da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo (GVA_{HDC})

Foram realizadas 100.000 simulações, para cada cenário apresentado na Tabela 4.20, utilizando-se as ferramentas *MS Visual Basic for Application* e *MS Excel*.

A Tabela 4.21 mostra a redução do erro médio da ENT (ou o ganho de exatidão) da técnica proposta em relação à tradicional, para os diversos cenários apresentados.

As simulações conduzidas indicaram a redução do erro médio da ENT (ou o aumento da exatidão) da técnica proposta, conforme ocorre o aumento da disponibilidade de dados históricos de desempenho de custo da fase, independente da amplitude do IDC_{Acum} da fase (20% ou 40% de amplitude), conforme ilustra a Tabela 4.21 e a Figura 4.5. A Figura 4.5 e a Tabela 4.21 mostram ainda a redução do erro médio da ENT decorrente da redução da amplitude da fase.

A Tabela 4.21 mostra a redução da amplitude do IDC_{Acum} (ou o ganho de precisão) da técnica proposta, em relação à tradicional, para os diversos cenários propostos.

Tabela 4.21– Redução do Erro Médio (Exatidão) da ENT com Aumento da Disponibilidade de Dados Históricos de Desempenho de Custo das Fases e Redução da Amplitude do IDC_{Acum}

Cenários com IDC_{Acum} de Amplitude de 20%		Cenários com IDC_{Acum} de Amplitude de 40%	
IDC_{Hist} Disponível	Redução do Erro Médio do ENT	IDC_{Hist} Disponível	Redução do Erro Médio do ENT
5%	1,83%	5%	1,59%
10%	3,44%	10%	2,27%
15%	5,25%	15%	3,78%
20%	5,75%	20%	5,65%
25%	7,75%	25%	7,71%
30%	10,70%	30%	10,30%

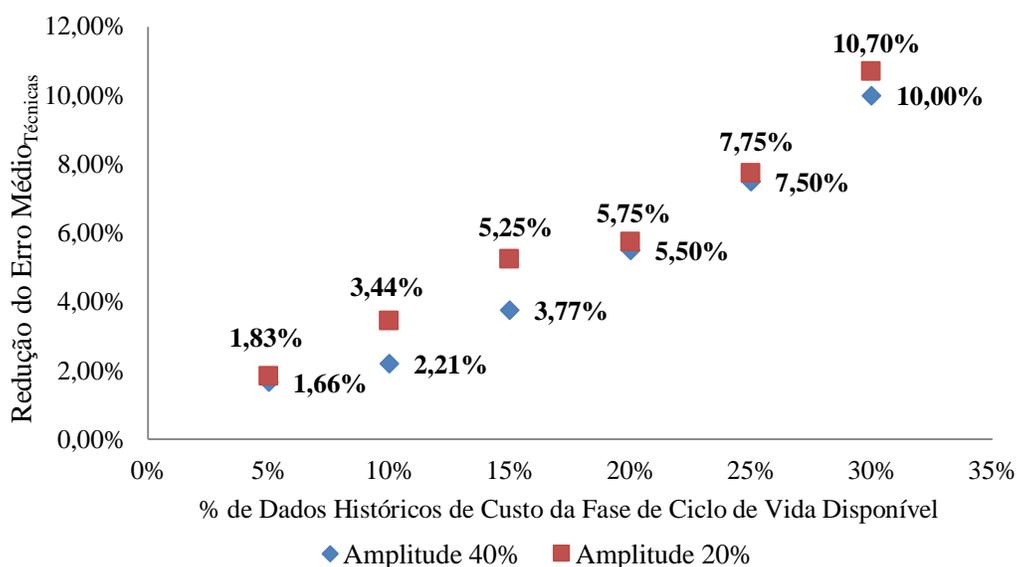


Figura 4.5– Redução do Erro Médio da ENT Decorrentes do Aumento da Disponibilidade de Dados Históricos de Desempenho de Custo das Fases e da Redução da Amplitude do IDC_{Acum} das Fases

As simulações conduzidas indicaram a redução da variação do IDC_{Acum} da técnica proposta, conforme ocorre o aumento da disponibilidade de dados histórico de desempenho de custo das fases, independente do quão estável estava o IDC_{Acum} da fase (20% ou 40% de variação), conforme ilustra a Tabela 4.22 e a Figura 4.6.

A Figura 4.7 e a Tabela 4.22 mostram ainda um ganho de precisão decorrente da redução da variação do IDC_{Acum} conhecido da fase.

Tabela 4.22– Redução da Variação Total do IDC_{Acum} com com o Aumento da Disponibilidade de Dados Históricos de Desempenho de Custo das Fases e o Aumento da Amplitude de 20% para 40%

Cenários com amplitude 20%		Cenários com amplitude 40%	
IDC_{Hist} Disponível	Redução Total da Variação do IDC_{Acum}	IDC_{Hist} Disponível	Redução Total da Variação do IDC_{Acum}
5%	10,76%	5%	1,37%
10%	12,07%	10%	1,66%
15%	12,70%	15%	2,76%
20%	11,46%	20%	4,12%
25%	12,25%	25%	5,76%
30%	15,26%	30%	7,86%

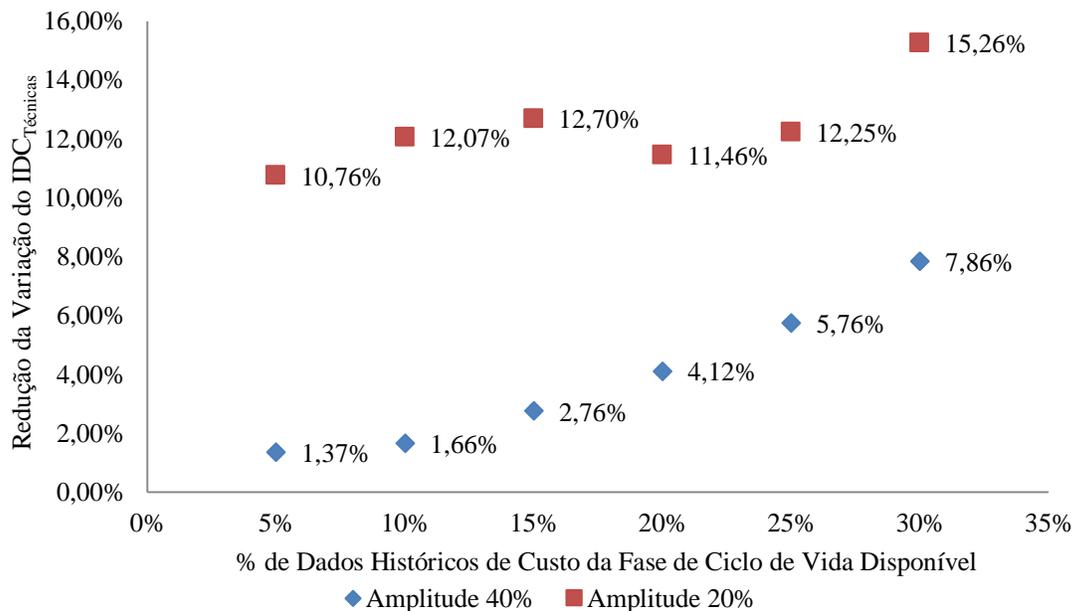


Figura 4.6– Redução da Variação do IDC_{Acum} com Amplitudes Diferentes

Foram realizados ainda os testes de hipótese para confirmar se o ganho de exatidão e de precisão da técnica, com a redução da amplitude do IDC_{Acum} da fase (aumento da estabilidade) era significativo. Foram utilizados os dados presentes nas amostras das Tabela 4.21 e Tabela 4.22, e os resultados são exibidos na Tabela 4.23.

Tabela 4.23– Teste de Hipótese, Ganho de Exatidão e Ganho de Precisão Sobre a Redução da Amplitude das Fases

Hipótese	Teste	T	Valor de p	Conclusão
H_0 Exatidão	$Erro_{ENTGVAHDCAmplitude40\%} - Erro_{ENTGVAHDCAmplitude20\%} = 0$	2,32	0,034	Refutar H_0
H_0 Precisão	$Variação_{IDCGVAHDCAmplitude40\%} - Variação_{IDCGVAHDCAmplitude20\%} = 0$	12,85	$2,5 \cdot 10^{-5}$	Refutar H_0

A análise dos dados contidos na Tabela 4.23, fornecem indícios de que a técnica proposta provê maior exatidão e maior precisão das estimativas de custo, considerando a soma dos ganhos coletados quando o projeto estava com 25%, 50% e 75% de execução,

com 95% de significância. Não foram realizados testes de hipótese para cada um desses momentos, especificamente.

As simulações avaliaram ainda o ganho de exatidão e de precisão dos projetos, quando há o aumento da disponibilidade de dados histórico de desempenho de custo das fases. A redução do Erro Médio da ENT (ganho de exatidão) é exibida na Figura 4.7, e a redução da amplitude do IDC_{Acum} (aumento de precisão) é exibido na Figura 4.8.

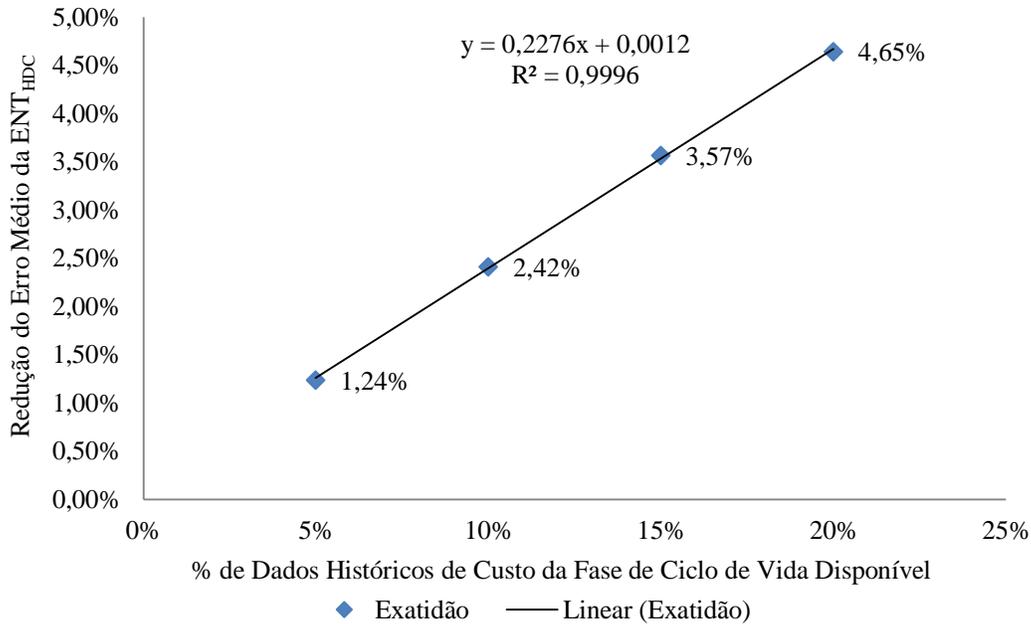


Figura 4.7– Redução do Erro Médio da ENT com o Aumento da Disponibilidade de Dados Histórico de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) das Fases

Tanto a Figura 4.7 como a Figura 4.8 apresentam um padrão que sugere a existência de correlação linear entre o aumento do percentual conhecido e o ganho de exatidão e de precisão. Foram realizadas análises de regressão, a fim de confirmar se existe alguma correlação entre as variáveis “% conhecido” e exatidão e “% conhecido” e precisão e os resultados são exibidos na Tabela 4.24.

Tanto a avaliação do valor de R quadrado, quanto a avaliação do erro padrão e do valor-*p*, de ambas as análises de regressão, permitem concluir que, tanto a exatidão quanto a precisão das estimativas, que utilizam a técnica proposta aumentam ao se aumentar o percentual conhecido do IDC_{Acum} da fase de ciclo de vida utilizada.

Tabela 4.24– Resultado da Análise de Regressão

Análise de Regressão	R Quadrado	Erro Padrão	Valor- <i>p</i>	Equação	Conclusão
Disponibilidade de Dados Históricos x Exatidão	0,999	0,0031	0,0281	$y = 0,2276*x + 0,0012$	Refutar H0
Disponibilidade de Dados Históricos x Precisão	0,999	4×10^{-5}	0,0044	$y = 0,279*x + 8*10^{-4}$	Refutar H0

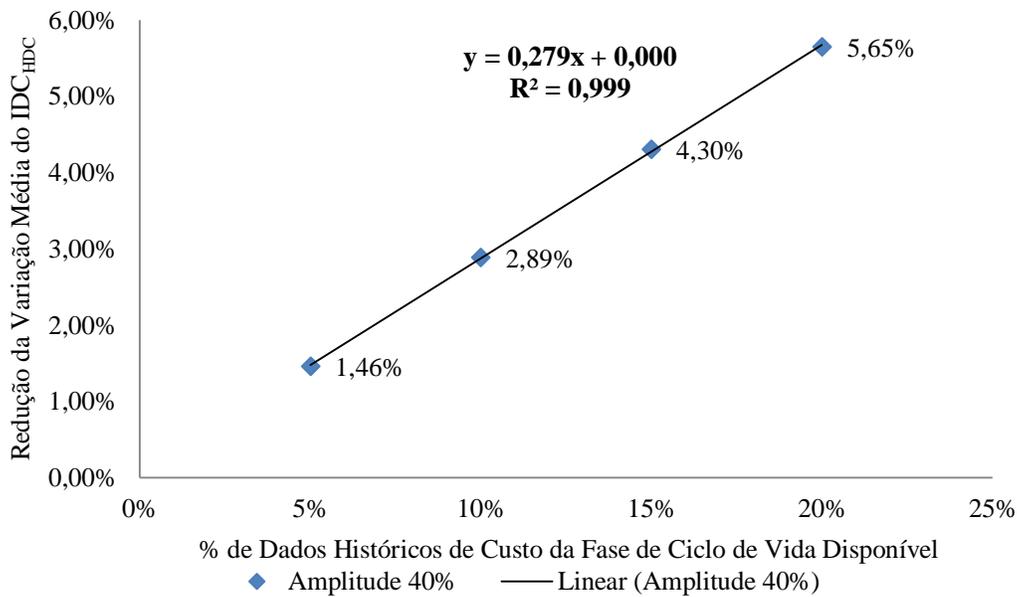


Figura 4.8–Redução da Variação do IDC_{Acum} com Aumento Disponibilidade de Dados Histórico de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) das Fases

4.5.2 Lições Aprendidas com o Terceiro Estudo de Caso

O terceiro estudo de caso mostrou que houve aumento da exatidão e da precisão das estimativas, utilizando a técnica proposta em duas circunstâncias, (i) quando há um

percentual maior de dados históricos de custo IDC_{Acum} disponíveis das fases; e (ii) quando essa fase apresenta IDC_{Acum} com menor variação.

4.6 Quinto Estudo de Viabilidade da Técnica de GVA com Dados Históricos de Qualidade (HDQ)

O quinto estudo de viabilidade foi publicado em (SOUZA, 2013b) e (SOUZA, 2013c). O quinto estudo de viabilidade avaliou se houve ganho ou perda de exatidão e de precisão, quando aplicada a técnica que integra dados históricos de qualidade a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado, conforme apresentada no capítulo 03.

Foram identificadas as seguintes hipóteses para exatidão neste estudo de viabilidade:

- $H0_{Exatidão}$: a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT igual à técnica de GVA com Dados Histórico de Qualidade.
 - $ERRO_{ENTGVA\ Tradicional} - ERRO_{ENT\ GVA\ Qualidade} = 0$

- $H1_{Exatidão}$: a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT inferior à técnica de GVA com Dados Histórico de Qualidade.
 - $ERRO_{ENT\ GVA\ Tradicional} - ERRO_{ENT\ GVA\ Qualidade} > 0$

Foram identificadas ainda as seguintes hipóteses para precisão neste estudo de viabilidade:

- $H0_{Precisão}$: a técnica de GVA tradicional apresenta precisão da IDC_{Acum} igual à técnica de GVA com Dados Histórico de Qualidade.
 - $Varição_{IDC\ GVA\ Tradicional} - Varição_{IDC\ GVA\ Qualidade} = 0$

- $H1_{Precisão}$: a técnica de GVA tradicional apresenta precisão da IDC_{Acum} inferior à técnica de GVA com Dados Histórico de Qualidade.
 - $Varição_{IDC\ GVA\ Tradicional} - Varição_{IDC\ GVA\ Qualidade} > 0$

Foram testadas também, hipóteses secundárias relacionadas à exatidão e a precisão quando os projetos tinham sido 25%, 50% e 75% executados.

A exatidão ou redução do erro da Estimativa No Término (ENT), da técnica proposta, foi medida por atividade, utilizando a equação a seguir:

$$\mathbf{Erro}_{ENT_{Qualidade}} = \left| 1 - \frac{CRA_{Acum}}{ENT_{Qualidade}} \right|, \quad (35)$$

Onde $ENT_{Qualidade}$ corresponde a equação (30) do Capítulo 03:

$$ENT_{Qual} = \frac{ENT}{IDC_{Acum}} + VCQ,$$

A exatidão ou redução do erro da Estimativa No Término (ENT), da técnica tradicional, foi medida por atividade, utilizando a equação a seguir:

$$\mathbf{Erro}_{ENT_{Tradicional}} = \left| 1 - \frac{CRA_{Acum}}{ENT} \right|, \quad (36)$$

O uso das equações (35) e (36), poderiam gerar resultados positivos e/ou negativos. Em função disso, foram utilizados os valores absolutos (ou o módulo) das equações, pois valores positivos e negativos poderiam se anular ao se calcular o valor do erro médio, mascarando assim os resultados obtidos.

Para calcular o erro médio de ambas as técnicas, foi utilizada a equação a seguir

$$\mathbf{Erro\ Médio}_{ENT\langle\langle T\acute{e}cnica \rangle\rangle} = \frac{\sum_1^N \text{Erro}_{ENT\langle\langle T\acute{e}cnica \rangle\rangle}}{N}, \quad (37)$$

Para medir a redução da variação do IDC_{Acum} ou a precisão das técnicas, o IDC_{Acum} de cada atividade foi comparado com o IDC_{Acum} da atividade anterior.

Isso foi feito utilizando a equação a seguir:

$$\mathbf{Varia\c{c}\~{a}o}_{IDC\ \text{Atividade}\ (N)} = \left| 1 - \left(\frac{IDC_{Atividade}(N)}{IDC_{Atividade}(N+1)} \right) \right|, \quad (38)$$

Novamente o valor absoluto da equação (38) foi utilizado para calcular a variação do IDC_{Acum} por atividades.

A variação média, utilizada para a realização dos testes de hipóteses, foi calculada utilizando a equação a seguir:

$$\mathbf{Varia\c{c}\~{a}o\ M\acute{e}dia}_{\langle\langle T\acute{e}cnica \rangle\rangle} = \frac{\sum_1^N \text{Varia\c{c}\~{a}o}_{IDC_{Atividade}\ (N)}}{(N-1)}, \quad (39)$$

Assim como nos estudos anteriores, este estudo foi conduzido utilizando-se simulação dos dados dos projetos. As simulações de dados históricos de desempenho de custo, referentes aos estudos de viabilidade anterior foram reutilizadas para a execução destas simulações. Entretanto, foram acrescentados dados relacionados ao desempenho de

qualidade, para cada fase do ciclo de vida presente na simulação, conforme ilustra a Tabela 4.25.

Tabela 4.25 – Dados da Simulação de Qualidade

Processo 02 - Amostras de Não Conformidades					
NC_GRE	Ho _{Est}	Ocorreu?	Foi corrigido?	VR _{Qual}	VR _{Trad}
1	5	1	1	60	60
2	11	0	0	0	0
3	9	0	0	0	0
4	7	1	0	84	0
5	10	1	1	120	120
6	11	1	1	132	132
7	8	0	1	0	0
8	12	1	1	144	144
9	8	0	1	0	0
10	7	0	0	0	0
11	8	1	1	96	96
12	8	1	0	96	0
13	8	1	1	96	96
14	15	1	0	180	0
15	12	1	0	144	0
16	24	1	1	288	288
17			1	0	0
			Total	1440	936
			Total por ativ	55,38	36,00
			Horas	120	
			NC	11	
			NC Corrigidas	7	
			Med hist.	6,4	

Para simular a existência de defeitos, foram utilizadas as colunas “Ho_{Est}“, “Ocorreu?“, “Foi corrigido?“, “VR_{Qual}“, “VR_{Trad}“ da Tabela 4.25. A coluna “Ho_{Est}“ representa o esforço estimado de correção do defeito e contém a função “aleatório”. A função aleatório podia gerar um número entre 4 e 12 horas para as linhas de 1 a 10.

As “Ho_{Est}“ das linhas de 11 a 14 simulavam a tendência da fase de ciclo de vida de apresentar mais ou menos defeitos, conforme as fases anteriores fossem executadas, ou seja, caso a fase anterior apresentasse menos defeitos que o histórico da organização, a fase atual teria uma tendência a apresentar uma quantidade menor de defeitos. Essa tendência foi adicionada da seguinte maneira: o percentual de defeitos históricos era calculado através da divisão do campo “NC”, que corresponde aos defeitos apurados, pelo campo “Med hist”, que corresponde a média histórica de defeitos. Caso esse percentual ficasse entre 20% e 40% maior que o histórico, a coluna “Ho_{Est}“ geraria o valor 8, caso o percentual

fosse maior que 40% geraria o valor 12, caso ficasse entre -20% e -40%, seria gerado um valor -4 (para que o custo da fase fosse reduzido), e se percentual fosse menor que -40%, seria gerado o valor -12.

A coluna “Ocorreu?” continha função “aleatório”, que poderia gerar apenas os números 0 ou 1, determinando a existência ou não de defeitos.

A coluna CR_{Qual} corresponde ao custo real estimado da atividade de correção do defeito, e foi calculada através do esforço estimado, multiplicado pela coluna “Ocorreu?” e pelo custo médio da atividade. Se a coluna “Ocorreu”, fosse igual a zero, a coluna CR_{Qual} também seria igual a zero. Esse custo normalmente só é computado, na técnica tradicional de GVA, após o defeito ser corrigido. Desta forma, um projeto com IDC igual a 1, e com um grande número de defeitos não corrigidos, passa a impressão de que não tem problemas de desempenho de custo. Essa pode ser uma das justificativas, para o conhecido problema da queda de desempenho de custo observada no final dos projetos por (LIPKE, 2009).

A coluna CR_{Trad} representa o custo real de correção de um defeito. Essa coluna pode ser calculada multiplicando-se as colunas “ HO_{Est} ”, “Ocorreu?” e “Foi corrigido?”. Vale lembrar que a coluna “Foi corrigido?” também contém a função “aleatório”, com valores variando entre 0 e 1, o que determina se o defeito foi ou não corrigido. Se as colunas “Ocorreu?” ou “Foi corrigido?” forem iguais a zero, o CR_{Trad} também será igual a zero. Esse custo normalmente é agregado ao CR na metodologia tradicional de GVA. Foram aplicadas essas regras a todas as fases utilizadas, ou seja, foram utilizados dados de qualidade de todas as fases que compunham o ciclo de vida de desenvolvimento de software.

As equações (18) a (30) do capítulo 3 foram então aplicadas a amostra de dados geradas pela simulação e os erros da ENT e as variações do IDC_{Acum} das técnicas foram obtidos aplicando as equações (35) a (39) deste capítulo.

A aplicação dessas equações geraram os dados presentes na Tabela 4.26, que também são exibidos na Figura 4.9. O eixo X dessa Figura mostra os projetos simulados e o eixo Y o erro médio da ENT apresentado por cada técnica. A técnica proposta apresentou maior ganho de exatidão no projeto 4, e a menor diferença entre a técnica proposta e a técnica tradicional foi encontrada no projeto 3, ambos podem ser vistos na Figura 4.9.

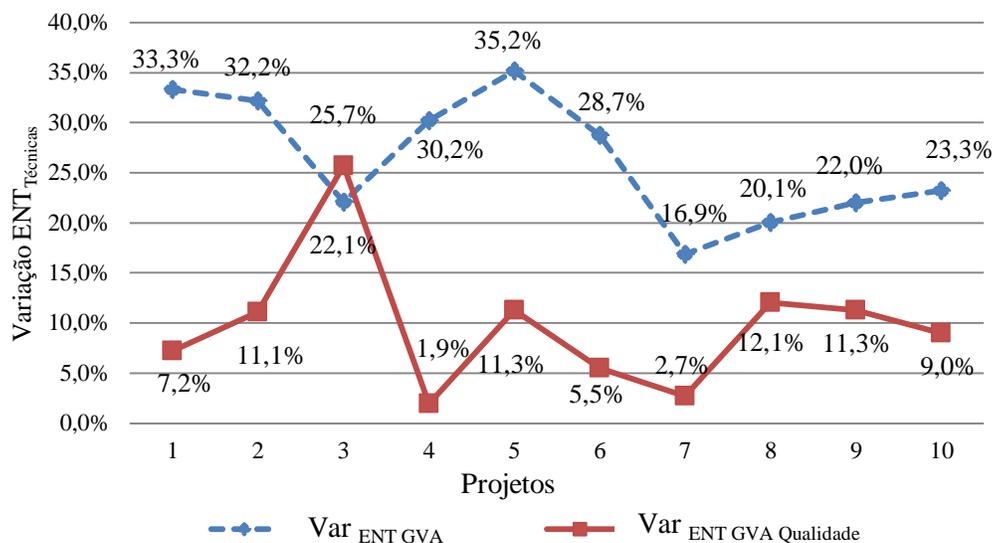


Figura 4.9–Variação Total do IDC_{Acumadas} Técnicas

Tabela 4.26 –Erro Médio da ENT Apresentados pela Técnica de GVA com Dados de Qualidade e GVA Tradicional

%Executado	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Média
25% Trad.	15,4	13,0	1,5	17,3	16,4	13,7	7,0	3,6	5,6	12,1	10,6
25% Qual.	1,8	0,5	17,4	1,1	6,2	3,8	0,1	9,9	0,5	4,1	4,5
50% Trad.	10,3	12,0	9,2	10,0	8,9	11,0	5,4	10,4	4,7	6,7	8,8
50% Qual.	3,5	2,9	2,5	2,4	4,1	6,4	2,7	2,9	4,9	1,4	3,4
75% Trad.	15,6	10,0	15,1	9,6	14,0	13,2	8,0	13,8	12,0	10,1	12,2
75% Qual.	5,2	1,7	5,4	0,2	1,7	1,7	1,1	1,8	4,1	3,2	2,6
Total Trad.	41,3	35,0	25,8	36,9	39,3	37,9	20,4	27,8	22,3	28,9	31,6
Total Qual.	10,5	5,1	25,3	3,8	12,0	11,9	4,0	14,5	9,6	8,8	10,5

Foram realizados os testes de hipótese para confirmar se houve redução do erro médio da ENT (ganho de exatidão) e/ou redução da variação do IDC_{Acum} da técnica proposta

Os testes de hipóteses realizados sobre a amostra da Tabela 4.26 são exibidos na Tabela 4.27. Foi adotado um nível de significância de 95% para o teste de hipótese.

Todos os testes de hipóteses realizados considerando o ganho de exatidão apresentaram resultados significativos, indicando que a técnica proposta é superior a tradicional, dentro do contexto da simulação conforme ilustra a Tabela 4.27.

Tabela 4.27 – Testes de Hipótese de Erro da ENT ou Exatidão

Hipótese	Teste	T	Valor de p	Conclusão
$H_{0\text{Exat}25\%}$	$\text{Erro}_{\text{ENTGVA Tradicional } 25\%} - \text{Erro}_{\text{ENTGVA Qualidade } 25\%} = 0$	6,46	$5,9 \times 10^{-5}$	Refutar H_0
$H_{0\text{Exat}50\%}$	$\text{Erro}_{\text{ENTGVA Tradicional } 50\%} - \text{Erro}_{\text{ENTGVA Qualidade } 50\%} = 0$	6,40	$6,24 \times 10^{-5}$	Refutar H_0
$H_{0\text{Exat}75\%}$	$\text{Erro}_{\text{ENTGVA Tradicional } 75\%} - \text{Erro}_{\text{ENTGVA Qualidade } 75\%} = 0$	6,39	$6,3 \times 10^{-5}$	Refutar H_0
$H_{0\text{ExatTotal}}$	$\text{Erro}_{\text{ENTGVA Tradicional Total}} - \text{Erro}_{\text{ENTGVA Qualidade Total}} = 0$	14,8	$6,1 \times 10^{-8}$	Refutar H_0

Foram realizados os testes de hipótese para confirmar se houve ganho de precisão da técnica. Foram utilizados os dados presentes na amostra da Tabela 4.26. Os dados da Tabela 4.28 também são exibidos na Figura 4.10. O eixo X dessa Figura mostra os projetos da amostra e o eixo Y a variação total apresentada por cada técnica.

Tabela 4.28 – Variação Total do IDC_{Acum} Apresentados pela Técnica GVA Tradicional e GVA com Dados de Qualidade – GVA_{HDQ}

%Executed	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Ave.
25% Trad.	15,4	13,0	1,5	17,3	16,4	13,7	7,0	3,6	5,6	12,1	10,6
25% Qual.	1,8	0,5	17,4	1,1	6,2	3,8	0,1	9,9	0,5	4,1	4,5
50% Trad.	2,3	9,2	5,4	3,3	4,7	1,8	1,8	2,6	4,4	1,0	3,67
50% Qual.	0,3	8,9	2,9	0,6	3,4	0,0	1,5	0,4	6,6	1,6	2,62
75% Trad.	15,6	10,0	15,1	9,6	14,0	13,2	8,0	13,8	12,0	10,1	12,2
75% Qual.	5,2	1,7	5,4	0,2	1,7	1,7	1,1	1,8	4,1	3,2	2,6
Total Trad.	33,3	32,2	22,1	30,2	35,2	28,7	16,9	20,1	22,0	23,3	26,4
Total Qual.	7,2	11,1	25,7	1,9	11,3	5,5	2,7	12,1	11,3	9,0	9,8

Todos os testes de hipóteses realizados considerando o ganho de precisão apresentaram resultados significativos, indicando que a técnica proposta é superior a tradicional, dentro do contexto da simulação conforme ilustra a Tabela 4.29.

Os testes de hipóteses realizados sobre a amostra da Tabela 4.28 são exibidos na Tabela 4.29. Foi adotado um nível de significância de 95% para o teste de hipótese.

Tabela 4.29 – Testes de Hipótese de Variação do IDC_{Acum} ou Precisão

Hipótese	Teste	T	Valor de p	Conclusão
$H_{0Var25\%}$	Variação O_{ENTGVA} Tradicional 25% – Variação O_{ENTGVA} Qualidade 25% = 0	4,03	0,0015	Refuta H_0
$H_{0Var50\%}$	Variação O_{ENTGVA} Tradicional 50% – Variação O_{ENTGVA} Qualidade 50% = 0	1,93	0,042	Refutar H_0
$H_{0Var75\%}$	Variação O_{ENTGVA} Tradicional 75% – Variação O_{ENTGVA} Qualidade 75% = 0	2,30	0,0197	Refutar H_0
$H_{0Var Total}$	Variação O_{ENTGVA} Tradicional Total – Variação O_{ENTGVA} Qualidade Total = 0	14,8	$6,2 \times 10^{-8}$	Refutar H_0

4.6.1 Lições Aprendidas com o Quinto Estudo de Caso

Apesar da técnica proposta apresentar melhoria em relação a técnica tradicional, e dos resultados serem significativos segundo o teste de hipótese. Na simulação realizada, foram definidas como premissa que os custos relacionados a qualidade estariam em torno de 30% do custo total do projeto. A técnica proposta calcula e corrige os custos finais dos projetos, dado um indicador de desempenho de custo, relacionado a qualidade. Entretanto, uma eventual correção da técnica proposta da ordem de 10% dos custos relacionados a qualidade, representariam em um projeto, cerca de 3,0% do total dos custos do projeto (10% de 30%), representando pouca diferença.

Portanto, um estudo de caso com dados de projetos reais seria uma evidência mais forte de viabilidade da técnica proposta.

4.7 Considerações Finais

Esse capítulo descreveu a execução de quatro estudos de viabilidade, realizados com o intuito de avaliar a viabilidade de cada uma das técnicas propostas quanto à sua exatidão e precisão em relação à técnica de GVA tradicional, no início (25% de execução), no meio (50% de execução) e no fim (75% de execução) do projeto. Para avaliar a viabilidade das técnicas propostas, foram executados diversos testes de hipótese sobre as diversas questões de pesquisas formuladas no decorrer das validações das técnicas.

No primeiro estudo, determinou-se como premissa para a utilização da técnica GVA_{Hist} que o projeto possuía dados históricos de todas as fases do ciclo de vida utilizado, e o resultado foi que a técnica proposta apresentou maior precisão e maior exatidão que a técnica tradicional no início, no meio e no fim do projeto. Todos os testes de hipóteses realizados mostraram que os resultados foram significativos, a 95% de nível de significância.

Posteriormente, foi testado o percentual mínimo de dados históricos necessários para que a técnica GVA_{Hist} apresentasse melhores resultados de exatidão e de precisão. A partir de 1,5% de dados históricos disponíveis, foi possível notar um ganho de exatidão de 1,08% e de precisão de 0,95%. Apesar de apresentar ganhos de exatidão e de precisão na aplicação da técnica, considerando a soma das medições em 25%, 50% e 75% de execução, os testes de hipóteses realizados mostraram que os resultados foram significativos a 95% de significância somente em 25% e 50% de execução do projeto, para exatidão e em 50% e 75% de execução do projeto, para precisão. Os resultados não foram significativos para a exatidão em 75% de execução pelo fato de todos os projetos apresentarem maior capacidade de prever o resultado final, quando aproximam-se do fim, dessa forma, o ganho de exatidão da técnica não é expressivo, quando se tem disponível um pequeno percentual de dados históricos. Quanto à precisão, o resultado não significativo no início pode ser explicado pelo fato do início do projeto apresentar grande variação do IDC e pelo fato de 1,5% de dados históricos não ser o bastante para estabilizar essas variações.

Já o terceiro estudo de caso, mostrou, por meio de testes de hipóteses, que há ganho de exatidão e de precisão quando há mais dados históricos das fases do ciclo de vida disponíveis. Mostrou também, através de uma análise de regressão, que quando os dados

históricos do IDC_{Acum} apresentam menor variação, há maior exatidão e maior precisão na técnica proposta, em relação à tradicional.

O quarto estudo de caso, mostrou através de testes de hipóteses, que a técnica GVA_{Qual} apresenta ganhos significativos em relação a técnica $GVA_{Tradicional}$.

A seguir serão apresentados dois estudos de caso com projetos reais, que são as próximas fases do estudo experimental.

CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO COM PROJETOS REAIS

Este capítulo descreve o planejamento e realização de um estudo de caso com projetos reais. Esse estudo de caso visa fornecer mais um indício de que as técnicas propostas podem ser utilizadas para prover melhor exatidão para a Estimativa No Término (ENT) e precisão para o Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}).

5.1 Introdução

Conforme descrito nas seções anteriores, o presente trabalho utilizou uma metodologia baseada em evidências, adaptada de (MAFRA *et al.*, 2006) e (SHULL *et al.*, 2001).

Até o capítulo anterior foram discutidos os resultados de diversos estudos de viabilidade, utilizando simulação. Os resultados dos estudos mostraram que todas as técnicas propostas até o momento são viáveis.

A próxima fase da metodologia experimental utilizada nesta tese prevê a realização de um estudo de caso com projetos reais, que será discutido neste capítulo.

5.2 Definição e Planejamento do Estudo de Caso das Técnicas Propostas

Segundo a metodologia experimental, apresentada na Seção 1.4, a segunda questão que deve ser respondida é “Os resultados da aplicação da técnica são viáveis com projetos reais?”. Como o presente trabalho propõe duas técnicas distintas: (i) integração de dados históricos de desempenho de custo à GVA_{HDC} e (ii) integração de dados históricos de qualidade à GVA_{HDQ} , cada uma das técnicas foi avaliada separadamente e a questão de pesquisa foi aplicada a ambas as técnicas.

Assim como o estudo apresentado na seção anterior, novamente as técnicas propostas foram avaliadas segundo a exatidão da Estimativa No Término (ENT) e a precisão do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) em relação à técnica tradicional.

Segundo o paradigma *Goal Question Metrics (GQM)* (BASILI e ROMBACH, 1994), este estudo de caso pode ser definido da seguinte forma:

Analisar	as técnicas propostas para a realização de estimativas de previsão de Estimativa de custo No Término (ENT)
Com o propósito	de caracterizar
Com respeito à	exatidão e precisão
Do ponto de vista	dos Pesquisadores da Técnica, Gerentes de Projetos e Gerentes de Escritórios de Projetos
No contexto de	projetos reais de software

Novamente, para medir a exatidão das técnicas, comparou-se a Estimativa No Término (ENT), utilizando o IDC_{Acum} de cada técnica (tradicional e proposta), com o Custo Real Acumulado (CR_{Acum}) do final do projeto. A exatidão ou o erro das técnicas foi medido em três momentos distintos dos projetos: (i) próximo do início, após 25% de execução ($ENT_{25\%}$), (ii) no meio do projeto, após 50% de execução ($ENT_{50\%}$) e (iii) próximo do final, após 75% de execução ($ENT_{75\%}$). A seguir o estudo de caso será descrito.

5.3 Preparação

A amostra de projetos disponíveis para a realização desse estudo era de 22 projetos de desenvolvimento de software. Primeiramente foram executados testes para confirmar ou refutar as vulnerabilidades encontradas por (ZWIKAEL, 2000), (LIPKE, 2006a) e (HEDERSON e ZWIKAEL, 2008), ou seja, para verificar a variação do IDC_{Acum} do projeto e se havia queda expressiva no desempenho do IDC_{Acum} próximo ao término da execução dos projetos.

5.3.1 Coleta dos Dados de Desempenho de Custo

Foram coletadas medidas dos 22 projetos, todos de uma mesma fábrica de software. Os dados coletados correspondem a projetos que foram executados entre os meses de março de 2009 e janeiro de 2010. Segundo (BARCELLOS, 2008), além da coleta das

medidas básicas especificadas, devem ser registradas informações de caracterização dos projetos, tais como o tamanho estimado total, linguagem de programação utilizada, perfil da equipe do projeto, ambiente de desenvolvimento e versão do processo utilizado. Estas informações permitiram o agrupamento das medidas coletadas em diferentes categorias de projetos, mantendo a homogeneidade entre os dados de cada grupo. Se o grupo não for homogêneo, as análises podem ficar comprometidas e levar a conclusões inadequadas.

Assim, a empresa que forneceu os dados para a execução do estudo de caso tinha as seguintes características:

- Era uma de desenvolvimento de software que possuía cerca de 30 colaboradores entre programadores, analistas de negócio e gerentes de projetos;
- A empresa possuía três áreas de negócio distintas, a citar: (i) fábrica de software com cerca de 25 profissionais, (ii) fábrica de teste com cerca de 7 profissionais que também atuavam na fábrica de software e (iii) dois profissionais sêniores que atuavam como consultores em implementações dos modelos de referência MPS Br e CMMI-Dev;
- Grande parte da equipe da empresa era composta por profissionais de 4 a 8 anos de experiência em suas funções;

Os projetos que fizeram parte desse estudo apresentavam as seguintes características:

- Possuíam um esforço estimado com variação entre 46 homens/hora até 289 homens/hora;
- Possuíam prazos de execução com variação entre 15 dias e 1 mês;
- Eram provenientes de um mesmo cliente, que era uma empresa multinacional do setor de telecomunicações,
- Utilizaram um modelo de ciclo de vida cascata, com quatro fases: (i) desenvolvimento de Use Case Tests (UCT), (ii) implementação dos requisitos funcionais (IMP), (iii) teste desses requisitos funcionais (TES), utilizando os casos de testes produzidos e (iv) correção dos erros reportados (CO);
- Utilizaram uma única versão, das fases de ciclo de vida supracitados;

- Foram desenvolvidos em uma mesma tecnologia e
- Foram desenvolvidos por profissionais de perfis semelhantes, que se alteravam entre os projetos.
- Os perfis dos profissionais eram os seguintes: (i) analistas de requisitos e desenvolvedores com, aproximadamente, 6 anos de experiência na tecnologia e domínio de aplicação usado nos projetos e (ii) testadores com 4 anos de experiência em atividades de testes dentro do domínio de aplicação dos projetos utilizados no estudo.

Os dados das atividades dos projetos foram coletados diariamente em todos os projetos utilizados neste estudo de caso. Cada atividade era composta de diferentes informações. Grande parte das atividades dos projetos eram registradas pelo gerente do projeto, que informava: (i) o nome da atividade, (ii) o profissional responsável por executá-la, (iii) as estimativas de esforço (em horas) para executá-la, (iv) o cronograma e (v) a estimativa de custo. Outras informações sobre as atividades tais como: (vi) o esforço real para executá-las, (vii) o custo real para executá-las e (viii) justificativa para alguma possível variação de custo, prazo ou dificuldade na execução da atividade, eram registradas pelos profissionais responsáveis por sua execução.

Todas as estimativas de tamanho, esforço e custo dos projetos avaliados foram realizadas utilizando a técnica Ponto de Caso de Uso (SMITH, 1999), após o desenvolvimento e a validação do documento de caso de uso detalhado da solução, aprovado pelo cliente e pela equipe de desenvolvimento.

Como o maior componente de custo em um projeto de software são as horas necessárias para o desenvolvimento do produto, todas as medidas básicas e indicadores de GVA tradicional foram calculados com base nas horas estimadas e nas horas reais, apuradas após a execução das atividades.

Para cada atividade prevista nos projetos, foram calculados os Custos Planejados Acumulados (VP_{Acum}) (através do esforço estimado para a execução das atividades) e os Custos Reais Acumulados (CR_{Acum}) (através do esforço real apurado após a execução das atividades). Com base nessas informações e no progresso do projeto, foram calculados os IDC'_{sAcum} para as fases do ciclo de vida e para o projeto como um todo.

5.3.2 Análise da Variação do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) dos Projetos

Para testar a variação do IDC_{Acum} , foram adotadas as premissas de CHRISTENSEN *et al.* (1998), que afirma que o IDC_{Acum} é considerado estável se não houver uma variação superior a mais ou menos 10% sobre o IDC_{Acum} , a partir de um determinado momento, até o término da execução do projeto. Assim, se em um dado momento durante a execução de um projeto, o IDC_{Acum} é igual a 0,87, ele é considerado estável se não variar mais que algo entre 0,78 e 0,96 até o final de sua execução. Essa premissa foi adotada somente para comparar os resultados obtidos nesse estudo com os obtidos nos estudos de (CHRISTENSEN *et al.*, 1998; ZWIKAEL, 2000; LIPKE, 2006a; HEDERSON e ZWIKAEL, 2008).

Na Tabela 5.1, a coluna “Estabilidade” mostra o momento no qual os projetos apresentaram e mantiveram a estabilidade do IDC_{Acum} até o término de sua execução, ou seja, o momento no qual não houve variação maior que mais ou menos 10% em relação ao IDC_{Acum} medido.

Em muitos projetos o IDC_{Acum} permaneceu estável momentaneamente (durante um curto intervalo de tempo, durante a execução de um conjunto de atividades, por exemplo entre as atividades 2 a 7 da Figura 5.1), entretanto, não permaneceu estável até o final da execução do projeto. Em grande parte desses projetos, a desestabilização ocorreu logo após o início da execução de uma próxima fase do ciclo de vida, ou seja, após o início da execução de uma fase diferente, com desempenho distinto das anteriores (veja a Figura 5.1 a qual mostra as medidas do IDC_{Acum} de um projeto real). A instabilidade do IDC_{Acum} dos projetos analisados pode-se dar em função da variação no IDC_{Acum} apresentada pelas fases, conforme indica a Tabela 5.2.

A Tabela 5.1 mostra que a estabilidade foi alcançada mais rapidamente no projeto 07, após 32,76% de execução. Por outro lado, no projeto 15 ela foi atingida após 95,34% de execução. O tempo médio para a estabilização do IDC_{Acum} dos projetos foi de 66% de execução, confirmando as observações de (ZWIKAEL, 2000; LIPKE, 2006a; e HEDERSON e ZWIKAEL, 2008).

Tabela 5.1 – Análise da Estabilidade do IDC_{Acum} e Ganho de Desempenho do IDC_{Acum} Próximo do Término da Execução do Projeto

Projeto	Estabilidade	Desempenho
Projeto 01	55,54%	13,45%
Projeto 02	59,01%	-9,32%
Projeto 03	74,19%	13,20%
Projeto 04	83,01%	20,93%
Projeto 05	83,52%	-69,65%
Projeto 06	68,70%	2,91%
Projeto 07	32,76%	-0,90%
Projeto 08	52,51%	4,55%
Projeto 09	98,88%	-44,89%
Projeto 10	91,22%	-37,74%
Projeto 11	77,59%	17,70%
Projeto 12	87,10%	20,06%
Projeto 13	90,05%	25,40%
Projeto 14	72,14%	-24,40%
Projeto 15	95,34%	-25,79%
Projeto 16	70,43%	8,04%
Projeto 17	85,06%	21,07%
Projeto 18	50,41%	11,65%
Projeto 19	36,85%	10,33%
Projeto 20	89,70%	26,07%
Projeto 21	36,30%	5,16%
Projeto 22	54,17%	8,30%

A Figura 5.1 mostra um projeto com o IDC_{Acum} instável. A variação do IDC_{Acum} do projeto é exibida no eixo “Y” e as atividades do projeto são exibidas no eixo “X”. Os limites superior e inferior da Figura 5.1 e 5.2, representam o intervalo definido por (CHRISTENSEN *et al.*, 1993), ou seja, o limite superior equivale a 10% acima do IDC_{Acum} quando o projeto havia sido 20% executado, e o limite inferior equivale a 10% abaixo do IDC_{Acum} quando o projeto havia sido 20% executado.

Nessa mesma Figura, é possível notar a influência da execução de uma nova fase sobre o comportamento do IDC_{Acum} . Quando uma nova fase inicia a sua execução, o IDC_{Acum} tende a mudar sua tendência, ainda que momentaneamente, como ilustrado pelas setas na Figura 5.1.

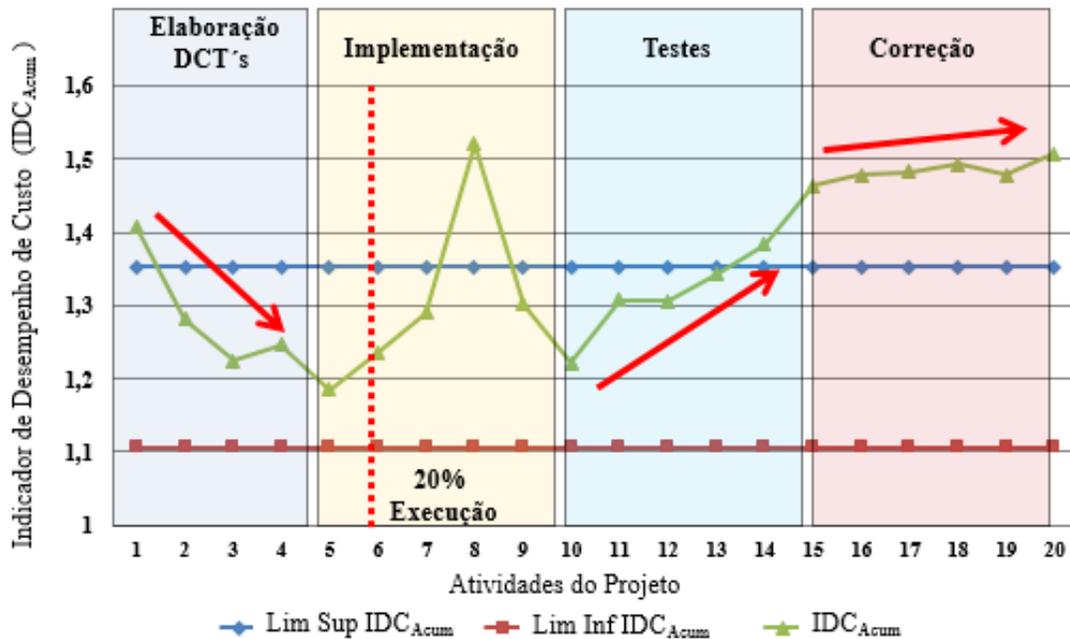


Figura 5. 1 – Projeto Com IDC_{Acum} Instável

A Figura 5.2 mostra um projeto com o IDC_{Acum} estável. Entretanto, é possível notar que o projeto só se torna estável próximo de 20% de execução. Antes disso é possível notar uma grande variação no início do projeto, como reportado por (CHRISTENSEN *et al.*, 1998; ZWIKAEEL, 2000; LIPKE, 2006a; HEDERSON e ZWIKAEEL, 2008).

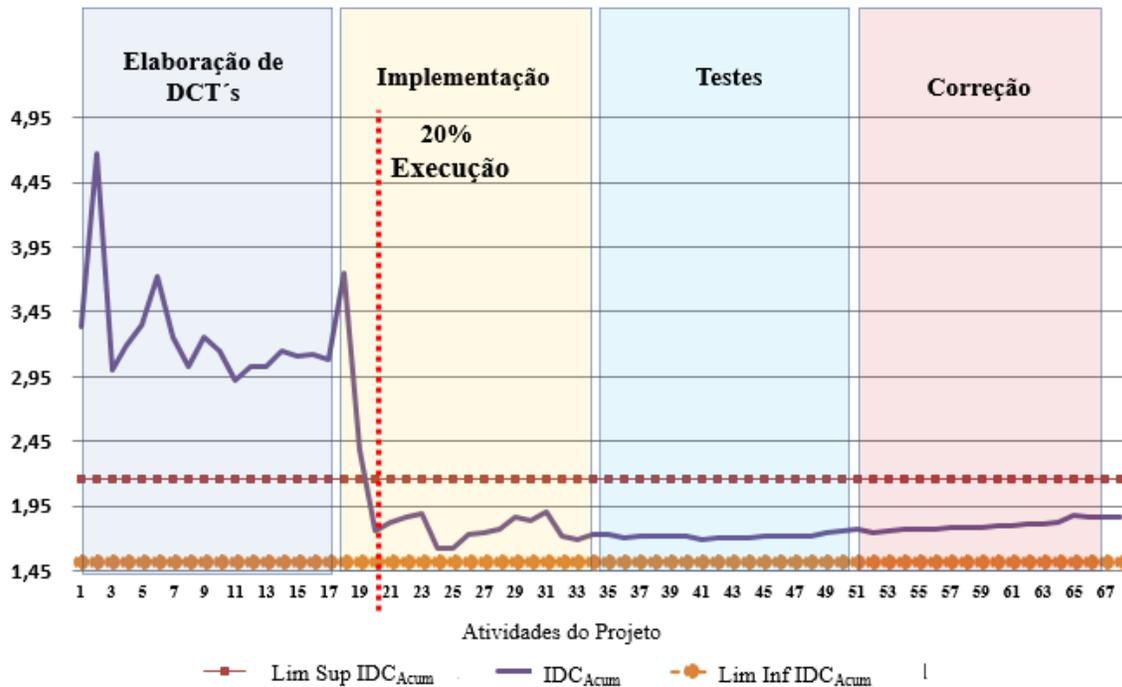


Figura 5.2 – Projeto Com IDC_{Acum} Estável

O comportamento do IDC_{Acum} próximo do término do projeto também foi analisado. Para tanto, foi avaliado o valor do IDC_{Acum} próximo de 80% de execução e no término do projeto, afim de identificar ganho ou perda do seu desempenho de custo. O resultado obtido com essa análise é expresso na coluna Desempenho da Tabela 5.1. Valores positivos indicam ganho de desempenho do IDC_{Acum} no final da execução e valores negativos indicam perda de desempenho do IDC_{Acum} no final da execução dos projetos. Dos 22 projetos avaliados em 15 ocorreu ganho de desempenho e em 7 houve perda de desempenho. Considerando a média entre os projetos houve perda de desempenho de 0,27% sobre o indicador. Ainda que na maioria dos projetos tenha ocorrido ganho de desempenho próximo ao final de sua execução, nos poucos projetos que houve perda de desempenho, ela foi acentuada (vide projetos 05 (-69,65%), 09 (-44,89%), 10 (-37,74%), 14 (-24,40%) e 15 (-25,79%) da Tabela 5.1).

Em muitos projetos o ganho de desempenho no final da execução dos projetos se deu em função deles não terem nenhum defeito. É importante destacar que grande parte dos projetos avaliados eram projetos pequenos, de menor complexidade, e menos sujeitos a terem defeitos.

O IDC_{Acum} apurado ao final da execução de cada fase do ciclo de vida dos projetos, bem como o período de execução de cada projeto é exibido na Tabela 5.2.

Tabela 5.2– Informações dos Projetos Utilizados nos Estudos de Casos

Projetos	IDC _{Acum} das Fases				Períodos	
	ECU(*)	IMP(*)	TES(*)	COR(*)		
Project 01	2,02	1,9	1,62	2,95	11/03/09 a 01/04/09	P1
Projeto 02	2,48	4,46	3,43	2,98	16/03/09 a 06/04/09	
Projeto 03	1,84	1,3	2,71	1,53	23/03/09 a 16/04/09	
Projeto 04	1,75	1,14	1,85	7,05	26/03/09 a 17/04/09	
Projeto 05	3,90	4,30	1,06	1,06	20/04/09 a 19/05/09	
Projeto 06	1,54	1,6	1,50	1,85	20/04/09 a 19/05/09	
Projeto 07	1,46	1,22	1,08	1,61	20/04/09 a 13/06/09	
Projeto 08	1,98	1,61	1,81	2,17	29/04/09 a 15/05/09	
Projeto 09	2,12	2,43	1,43	1,00	29/04/09 a 20/05/09	
Projeto 10	1,98	1,77	2,39	2,14	21/05/09 a 09/06/09	
Projeto 11	2,20	1,67	2,20	10,0	15/06/09 a 30/06/09	P3
Projeto 12	1,19	1,23	4,34	2,50	29/06/09 a 10/07/09	
Projeto 13	3,31	2,32	3,10	N.D.	29/07/09 a 10/08/09	P4
Projeto 14	2,24	4,37	2,40	1,85	11/08/09 a 20/08/09	
Projeto 15	1,01	1,48	2,21	1,54	12/08/09 a 20/08/09	
Projeto 16	2,26	1,90	5,25	3,44	21/08/09 a 04/09/09	P5
Projeto 17	3,78	1,33	3,08	2,57	01/09/09 a 18/09/09	
Projeto 18	2,93	2,26	2,45	2,63	14/09/09 a 30/09/09	
Projeto 19	3,61	1,21	2,41	2,89	19/10/09 a 16/11/09	P6
Projeto 20	1,42	2,54	1,79	2,94	01/12/09 a 31/12/09	P7
Projeto 21	3,09	1,56	1,89	1,75	04/01/10 a 20/01/10	P8
Projeto 22	1,35	2,03	1,07	2,6	19/01/10 a 03/02/10	

(*) Nota: dados do IDC_{Acum} de: (i) Elaboração de Casos de Uso (ECU), (ii) Implementação dos Casos de Uso (IMP) , (iii) Teste dos Casos de Uso (TES) e (iv) Correção dos Defeitos (COR).

(**) Nota: Não Definido (N.D.) Não ocorreram defeitos nesse projeto.

A técnica proposta utiliza dados históricos para a realização de projeções mais seguras do IDC_{Acum}. Os projetos que participaram do estudo foram executados em diferentes datas, e por isso, foram considerados diferentes períodos para a realização das

projeções da Estimativa No Término (ENT) realizadas pela técnica proposta. Durante o estudo, cada período específico utilizou o IDC_{Acum} médio das fases do ciclo de vida dos projetos executados anteriormente.

As técnicas apresentadas no Capítulo 3 foram avaliadas através de um estudo de caso com projetos reais, no qual o objetivo era medir a precisão e a exatidão de ambas as técnicas e compará-las com a tradicional.

A seguir a questão de pesquisa e as hipóteses desse estudo são apresentadas e avaliadas para a primeira técnica apresentada no capítulo 3.

5.4 Avaliação da Técnica de GVA_{HDC} com Dados Históricos de Desempenho de Custo

Este estudo teve como objetivo responder a seguinte pergunta: “A *técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) tradicional apresenta maior Exatidão (Menor Erro) da Estimativa No Término (ENT) que a técnica GVA com histórico de desempenho de custo?*”

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

- **$H0_{Exatidão}$** : a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT igual à técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo.
 - $Erro_{ENT\ GVA\ Tradicional} - Erro_{ENT\ GVA\ H.D.C.} = 0$

- **$H1_{Exatidão}$** : a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT inferior à técnica de GVA com histórico de desempenho de custo.
 - $Erro_{ENT\ GVA\ Tradicional} - Erro_{ENT\ GVA\ H.D.C.} > 0$

Foram definidas ainda mais três questões secundárias, similares à primeira, mas que visam responder se a técnica proposta apresenta melhor exatidão da ENT em relação à técnica tradicional próximo do início (25% executado), no meio (50% executado) e próximo do fim (75% executado) do projeto. Dessa forma as questões secundárias foram definidas como:

“A técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) tradicional apresenta maior Exatidão (menor Erro) da Estimativa No Término (ENT) que a técnica GVA com histórico de desempenho de custo?” (após respectivamente 25%, 50% e 75% do projeto executado)?”

- **H0_{Exatidão25%}**: a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT igual à técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo.
 - $\text{Erro}_{\text{ENT GVA Tradicional 25\%}} - \text{Erro}_{\text{ENT GVA H.D.C. 25\%}} = 0$
- **H1_{Exatidão25%}**: a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT inferior à técnica de GVA com histórico de desempenho de custo.
 - $\text{Erro}_{\text{ENT GVA Tradicional 25\%}} - \text{Erro}_{\text{ENT GVA H.D.C. 25\%}} > 0$

Para cada momento (25%, 50% e 75%) de execução dos projetos, o teste de hipótese definido acima foi conduzido.

Foram definidas ainda questões relacionadas a precisão, cujo objetivo era responder: “A técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) tradicional apresenta maior Precisão (menor variação) do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) que a técnica GVA com histórico de desempenho de custo?”

Foram estabelecidas, as hipóteses para avaliar a Precisão das técnicas:

- **H0_{Precisão}**: a técnica de GVA tradicional apresenta precisão do IDC_{Acum} igual à técnica de GVA com histórico de desempenho de custo.
 - $\text{Variação}_{\text{IDC GVA Tradicional}} - \text{Variação}_{\text{IDC GVA H.D.C.}} = 0$
- **H1_{Precisão}**: a técnica de GVA tradicional apresenta precisão do IDC_{Acum} inferior à técnica de GVA com histórico de desempenho de custo.
 - $\text{Variação}_{\text{IDC GVA Tradicional}} - \text{Variação}_{\text{IDC GVA H.D.C.}} > 0$

Assim como na primeira questão principal, foram definidas novamente mais três questões secundárias, similares à segunda questão principal, mas que visam responder se a técnica proposta apresenta melhor precisão em relação à técnica tradicional no início (25% executado), no meio (50% executado) e no fim (75% executado) do projeto.

O método de análise da Exatidão e Precisão foi o mesmo utilizado no Capítulo 3 e os cálculos utilizaram as equações (31) a (34), também do Capítulo 4.

Ao final de cada período de execução os dados históricos das fases foram coletados, analisados e utilizados pela técnica proposta para calcular um novo indicador de desempenho de custo IDC_{HDC} . Os períodos considerados para o estudo estão destacados na Tabela 5.3

5.4.1 Análise do Erro Médio (Exatidão) da ENT e da Variação (Precisão) dos IDC_{Acum} das Técnicas de GVA_{Trad} e GVA_{HDC}

As equações propostas pela técnica GVA_{HDC} e GVA_{Trad} foram aplicadas aos projetos apresentados na seção anterior e os dados de Exatidão da ENT e Precisão do IDC_{Acum} foram coletados.

A Tabela 5.3 mostra o Erro Médio da Estimativa No Término (ENT) (exatidão) de cada técnica e a Variação Média do IDC_{Acum} (precisão) de cada técnica para 13 projetos, quando os projetos tinham sido 25% e 50% executados, e a Tabela 5.4 mostra os mesmos dados quando os projetos haviam sido 75% executados e 100% executados.

Tabela 5. 3 – Erro Médio (Exatidão) da Estimativa No Término (ENT), e Variação Média (Variação) do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) das Técnicas

Projetos	25% Executado				50% Executado			
	Erro Médio		Variação		Erro Médio		Variação	
	ENT_{HDC}	ENT_{Trad}	IDC_{HDC}	IDC_{Trad}	ENT_{HDC}	ENT_{Trad}	IDC_{HDC}	IDC_{Trad}
P. 10	12,0%	25,3%	0,0%	13,2%	12,0%	23,6%	0,0%	11,9%
P. 11	7,9%	61,9%	0,0%	29,1%	7,8%	48,5%	0,0%	25,5%
P. 12	15,2%	15,9%	1,4%	5,0%	13,8%	14,0%	1,0%	7,7%
P. 13	23,0%	14,4%	0,0%	12,8%	22,2%	15,2%	0,0%	12,7%
P. 14	7,7%	26,7%	0,2%	11,7%	7,5%	30,4%	0,1%	10,9%
P. 15	10,7%	15,9%	0,5%	17,1%	10,2%	14,4%	0,3%	16,9%
P. 16	8,3%	55,6%	0,0%	13,4%	8,3%	45,0%	0,0%	14,2%
P. 17	37,0%	173,9%	0,6%	54,0%	37,5%	157,7%	0,5%	50,0%
P. 18	1,1%	20,7%	0,6%	6,9%	1,1%	20,7%	0,6%	6,9%
P. 19	69,8%	184,3%	0,5%	24,7%	70,3%	172,5%	0,4%	23,5%
P. 20	2,3%	47,0%	0,6%	7,0%	3,3%	40,3%	0,4%	7,7%
P. 21	25,4%	61,1%	0,3%	12,3%	27,2%	46,9%	0,3%	10,2%
P. 22	32,4%	27,9%	0,0%	14,9%	32,3%	24,0%	0,0%	18,2%

Tabela 5. 4 – Erro Médio (Exatidão) da Estimativa No Término (ENT), e Variação Média (Variação) do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) das Técnicas

Projetos	75% Executado				100% Executado			
	Erro Médio		Variação		Erro Médio		Variação	
	ENT _{HDC}	ENT _{Trad}	IDC _{HDC}	IDC _{Trad}	ENT _{HDC}	ENT _{Trad}	IDC _{HDC}	IDC _{Trad}
P. 10	10,9%	21,0%	0,4%	10,6%	8,2%	15,3%	0,6%	8,1%
P. 11	7,8%	42,1%	0,0%	21,7%	6,4%	24,3%	0,1%	11,9%
P. 12	12,5%	14,3%	2,5%	6,8%	8,9%	10,0%	1,9%	4,8%
P. 13	20,5%	13,3%	0,2%	9,9%	16,3%	10,3%	0,5%	6,4%
P. 14	6,5%	26,5%	0,8%	11,3%	5,5%	17,4%	0,6%	6,7%
P. 15	10,2%	14,4%	0,3%	16,9%	8,8%	9,7%	1,7%	11,4%
P. 16	11,7%	33,7%	2,5%	13,4%	10,0%	16,6%	2,4%	7,0%
P. 17	33,5%	107,6%	3,9%	32,3%	20,4%	63,9%	2,4%	19,8%
P. 18	1,4%	18,5%	0,5%	6,8%	1,6%	16,2%	0,4%	6,5%
P. 19	71,4%	144,7%	0,3%	19,4%	72,5%	118,6%	0,3%	17,7%
P. 20	3,2%	32,9%	0,7%	6,6%	3,8%	22,9%	0,7%	4,5%
P. 21	24,5%	38,9%	1,0%	8,5%	14,9%	24,5%	0,6%	5,1%
P. 22	29,8%	18,3%	0,0%	14,7%	22,1%	13,2%	0,0%	10,3%

Não foram coletados os erros e variações dos 9 primeiros projetos, porque eles formaram a base de dados histórica inicial para a realização das projeções dos indicadores dos projetos do segundo período, pela técnica proposta.

A Figura 5.3 apresenta, no eixo X, cada um dos 13 projetos avaliados, e no eixo Y o Erro-Médio_{ENT-HDC-25%} e Erro-Médio_{ENT-Trad-25%} para cada um dos projetos analisados no estudo.

A redução do Erro Médio da ENT, utilizando a técnica proposta, foi de 136,9% em relação à técnica tradicional, no projeto 17 da Figura 5.3. A técnica proposta foi pior que a tradicional nos projetos 13 e 22, onde houve aumento no erro médio da ENT de 8,6% e 4,5% respectivamente, em relação a técnica tradicional, quando o projeto havia sido 25% executado.

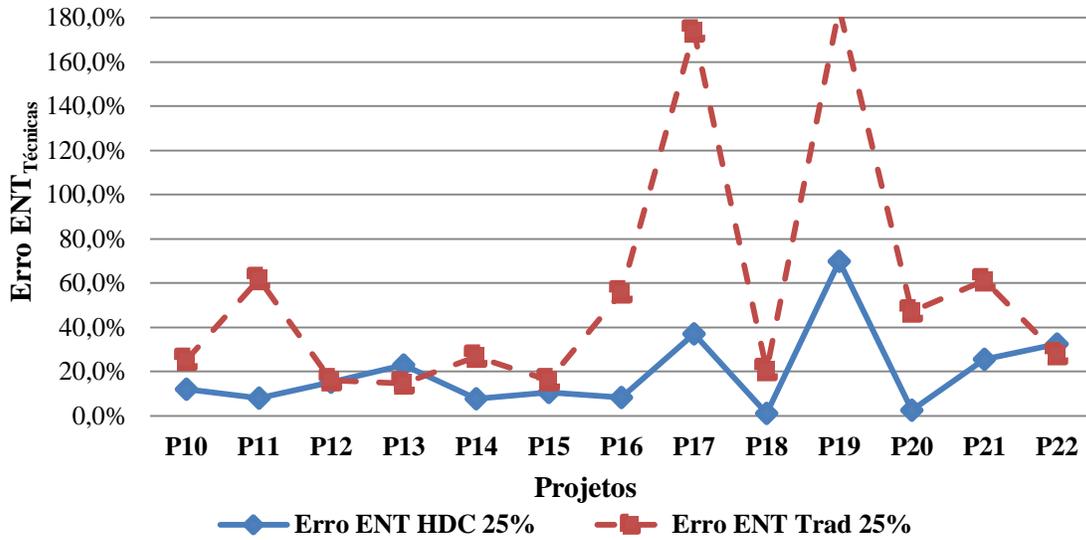


Figura 5.3– Erro Médio da Estimativa No Término (ENT) Quando os Projetos Tinham Sido 25% Executados

As Figuras 5.4, 5.6 e 5.8 mostram a variação média do IDC_{Acum} das técnicas, próximo do início, no meio e próximo do fim da execução dos projetos, respectivamente. Pode-se notar pelas figuras citadas, que a técnica proposta mostrou melhores resultados, com variação média do IDC_{Acum} menor que a da técnica tradicional em todos os projetos, e em todos os períodos testados, ainda que a base de dados fosse pequena.

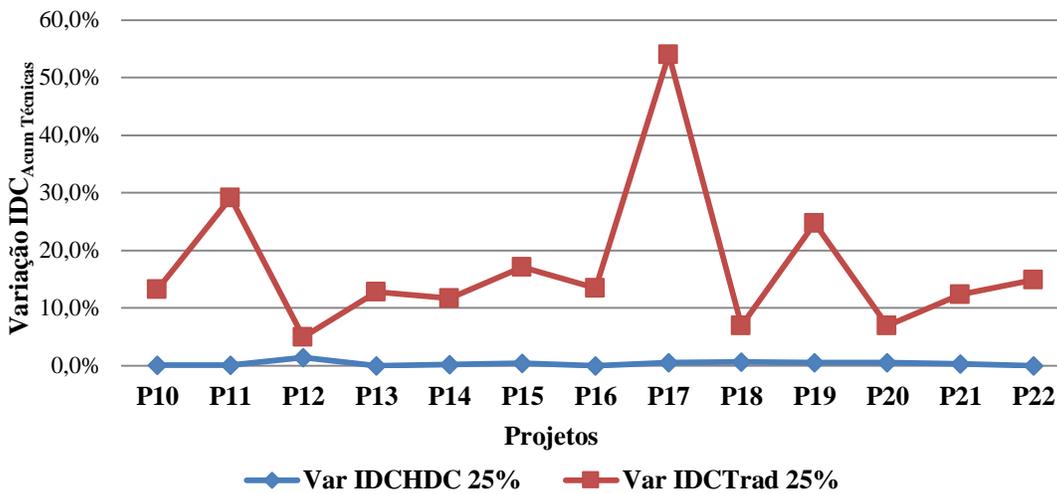


Figura 5.4 – Variação Média do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) Quando os Projetos Tinham Sido 25% Executados

A redução do Erro Médio da ENT, utilizando a técnica proposta, foi de 120,2% em relação à técnica tradicional, no projeto 17 da Figura 5.4, quando os projetos haviam sido 50% executados. A técnica proposta foi pior que a tradicional apenas nos projetos 13 e 22, onde houve aumento no erro médio da ENT de 7% e 8,3%, respectivamente, em relação a técnica tradicional, quando o projeto havia sido 50% executado.

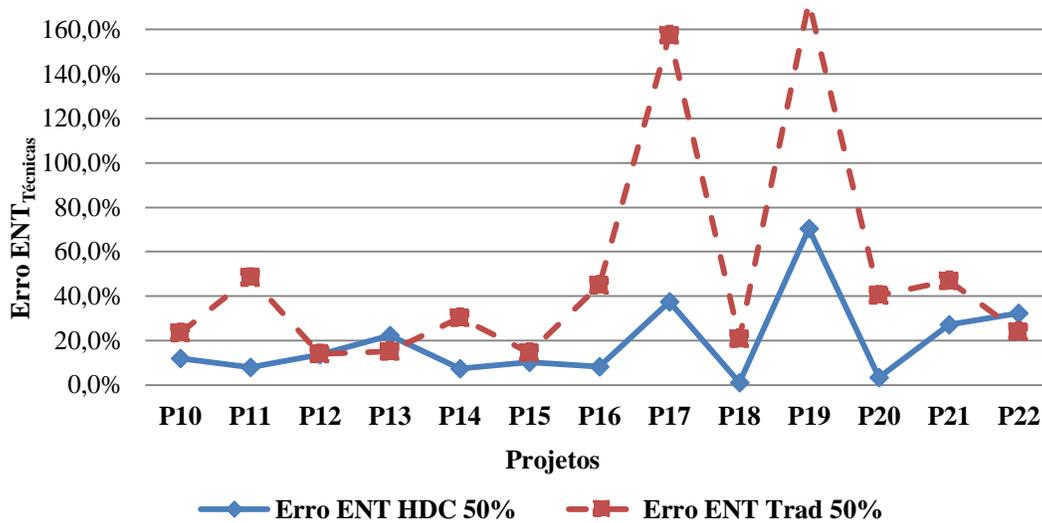


Figura 5.5 – Erro Médio da Estimativa No Término (ENT) Quando os Projetos Tinham Sido 50% Executados

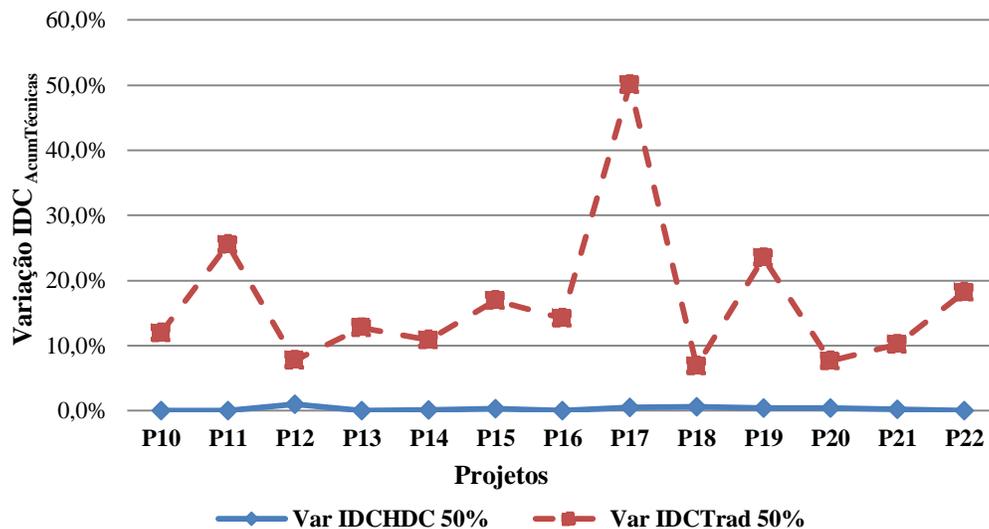


Figura 5.6 – Variação Média do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) Quando os Projetos Tinham Sido 50% Executados

Pode-se notar na Figura 5.7, que a redução do erro médio da ENT utilizando a técnica proposta foi de 74,1% comparado com a técnica tradicional no projeto 17. Houve

aumento no erro médio da ENT de 7,2% e 8,3% nos projetos 13 e 22, respectivamente, como pode ser visto na Figura 5.7 também. Nos 13 projetos avaliados houve perda de exatidão apenas em 2 projetos.

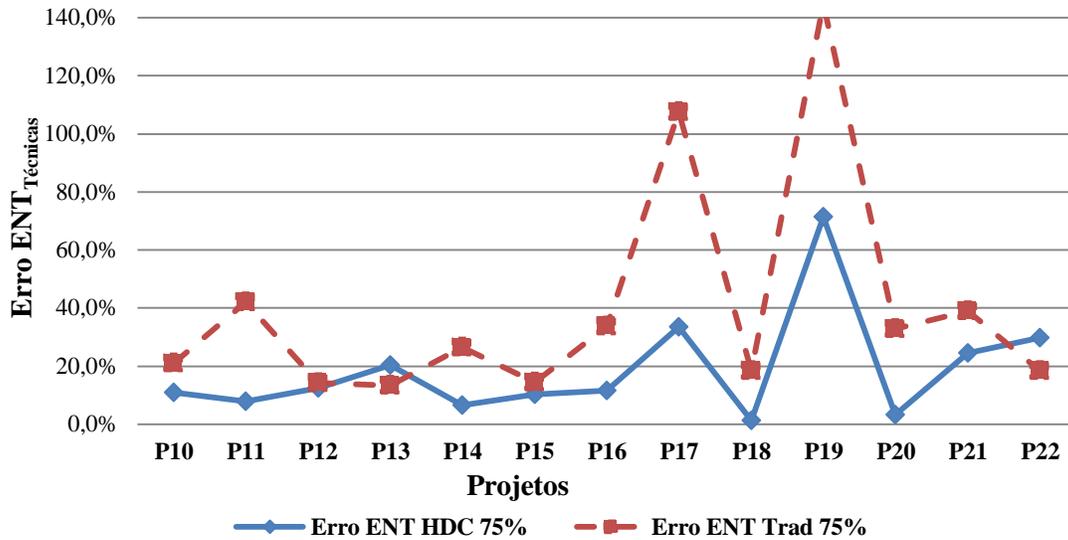


Figura 5.7 – Erro Médio da Estimativa No Término (ENT) Quando os Projetos Tinham Sido 75% Executados

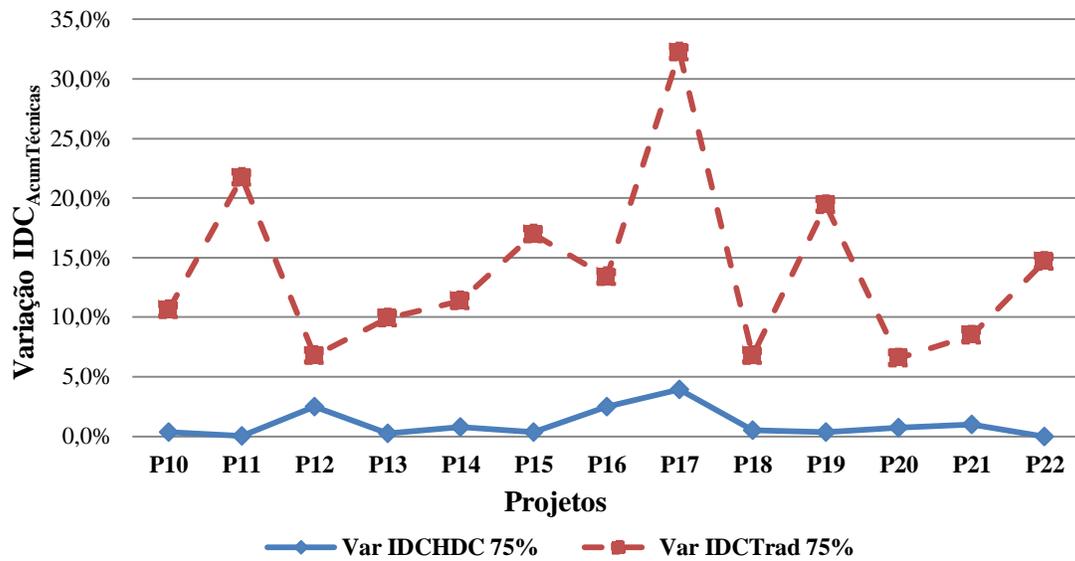


Figura 5.8 – Variação Média do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) Quando os Projetos Tinham Sido 75% Executados

A Figura 5.9 mostra o Erro Médio Total da ENT das técnicas. É possível notar que em apenas um dos treze projetos avaliados houve menor exatidão na projeção da ENT, em

todos os outros projetos a ENT calculada pela técnica proposta apresentou melhores resultados.

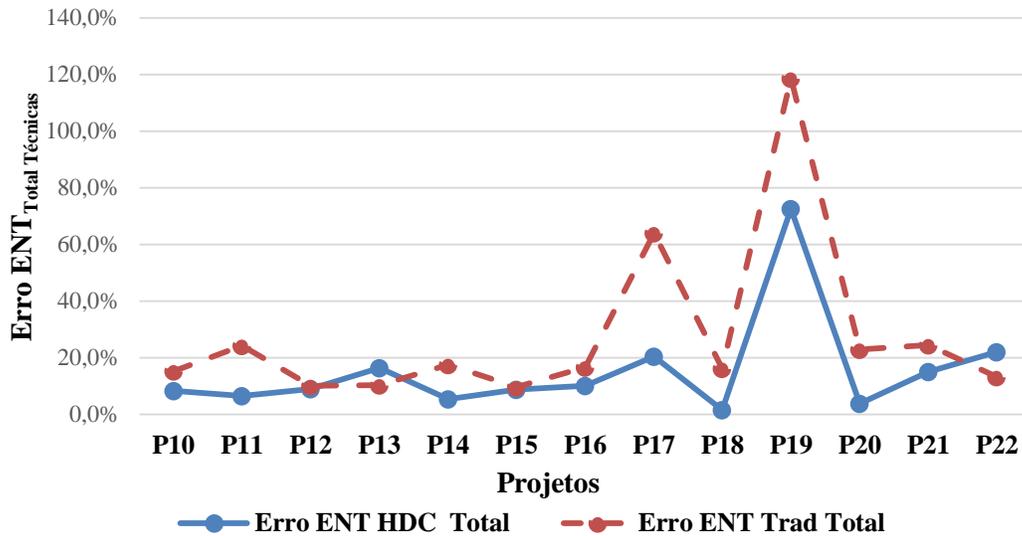


Figura 5.9 – Erro Médio da Estimativa No Término (ENT) Projetos 100% Executados

A Figura 5.10 mostra a Variação Média do IDC_{Acum} das técnicas. É possível notar que nenhum projeto que utilizou a técnica proposta apresentou variação média maior que a técnica tradicional.

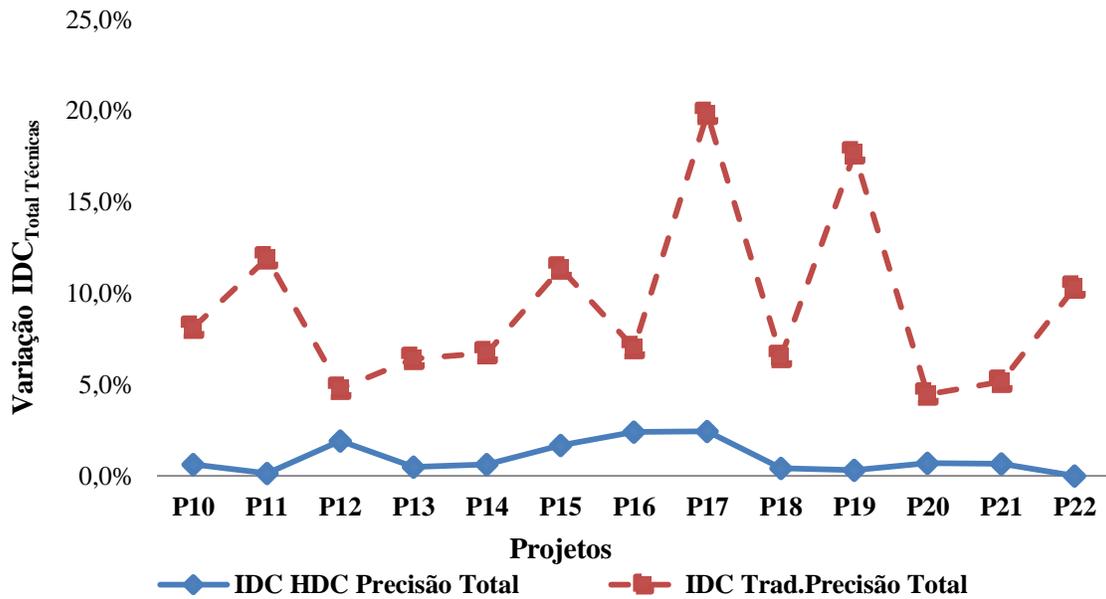


Figura 5.10 – Variação Média do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}) Quando os Projetos Tinham Sido 100% Executados

5.4.2 Análise dos Melhores e Piores Resultados do Erro Médio (Exatidão) da ENT das Técnicas

Os projetos que apresentaram maior diferença na exatidão da ENT foram estudados mais profundamente. Os resultados serão discutidos a seguir.

A Figura 5.11 mostra as projeções da ENT_{Trad} e da ENT_{HDC} , calculadas usando o IDC_{Trad} e o IDC_{HDC} para o projeto 19, no qual o Erro Médio da Técnica Tradicional foi muito maior que o da Técnica Proposta (apesar do projeto 17 ter apresentado a maior diferença de erro da ENT em relação a técnica tradicional até 75% de execução, considerando 100% da execução do projeto a maior diferença de erro passa a ser do projeto 19). No eixo “X” é possível notar as atividades do projeto, e no eixo “Y” é possível notar a ENT_{Trad} , ENT_{HDC} , e os limites superiores e inferiores (foram considerados os limites de especificação apresentados por (CHRISTENSEN *et al.*, 1993; ZWIKAEL, 2000; LIPKE, 2006a; HEDERSON e ZWIKAEL, 2008), de mais ou menos 10%. Os limites foram definidos quando o projeto tinha sido 20% executado).

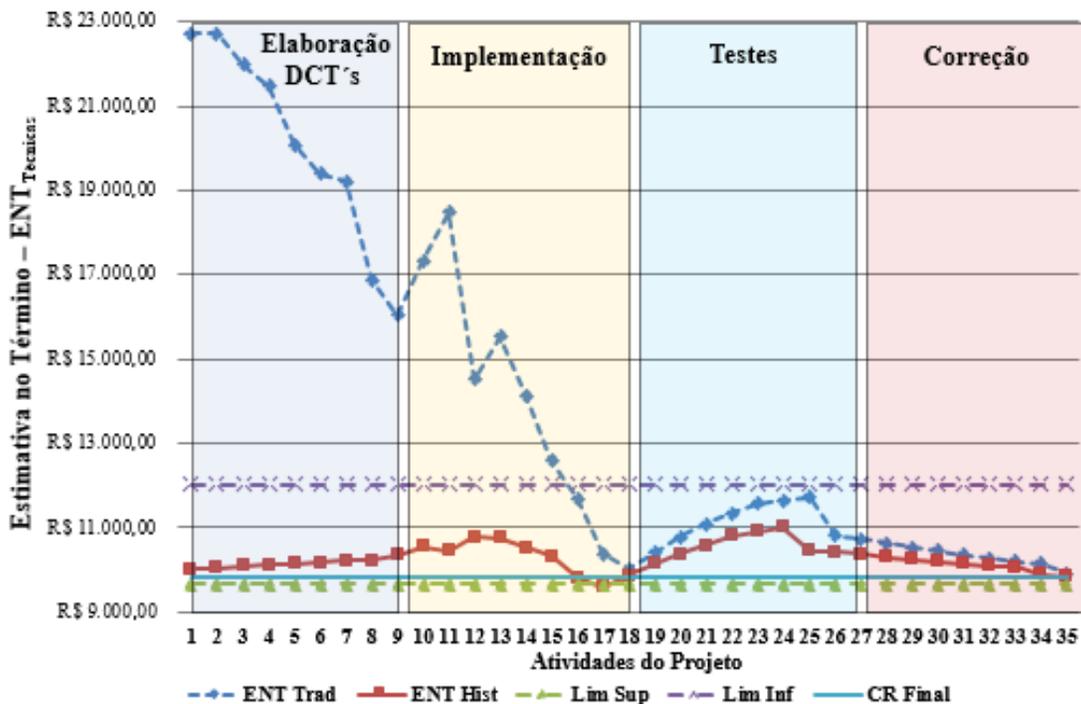


Figura 5.11 – Projeções das ENT_{Trad} e ENT_{HDC} calculadas usando o IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 19

É possível notar que o ENT_{HDC} apresenta pequena variação durante toda a execução do projeto, enquanto o ENT_{Trad} apresenta uma grande variação (e grande erro) no início do projeto, e leva quase 50% do projeto para alcançar uma estimativa mais exata. O projeto 19 apresentou a maior exatidão entre os projetos estudados, quando a técnica proposta foi utilizada.

É possível notar também na Figura 5.11, o impacto da mudança de uma fase no IDC_{Acum} , próximo da atividade 9, da atividade 18 e com menos intensidade próximo à atividade 27.

A grande diferença observada entre o ENT_{Trad} e o CR_{Final} ocorreu no projeto 19, porque o IDC_{Trad} também apresentou uma grande amplitude. A variação do IDC_{Trad} e IDC_{HDC} podem ser vistas na Figura 5.12. É possível notar que o IDC_{HDC} é estável durante toda a execução do projeto. Por outro lado é possível notar também que o IDC_{Trad} estabilizou-se somente próximo do meio da execução do projeto.

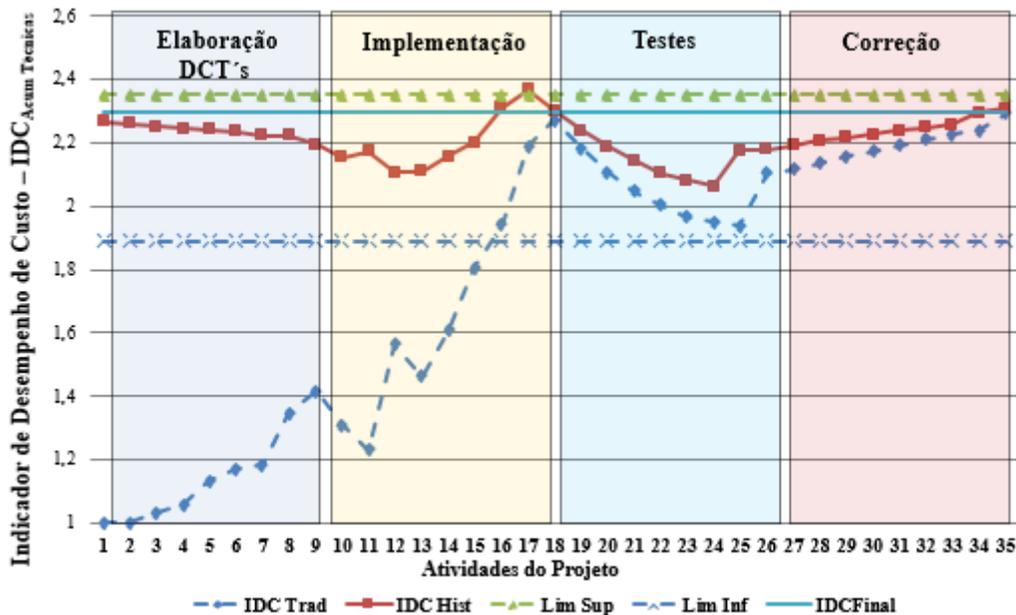


Figura 5.12 – Variações do IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 19

Por fim a Figura 5.13 mostra a variação do IDC_{Trad} e do IDC_{HDC} usando um gráfico de Box plot. Por esse gráfico fica evidente a menor variação do IDC_{HDC} e a razão da melhor exatidão. O Box Plot da esquerda, que representa o IDC_{HDC} apresenta menor variação e a média dele encontra-se extremamente próxima do IDC_{Final} do projeto, o que indica que na

maior parte do tempo a técnica proposta gerou uma projeção da ENT muito próxima do CR_{Final} .

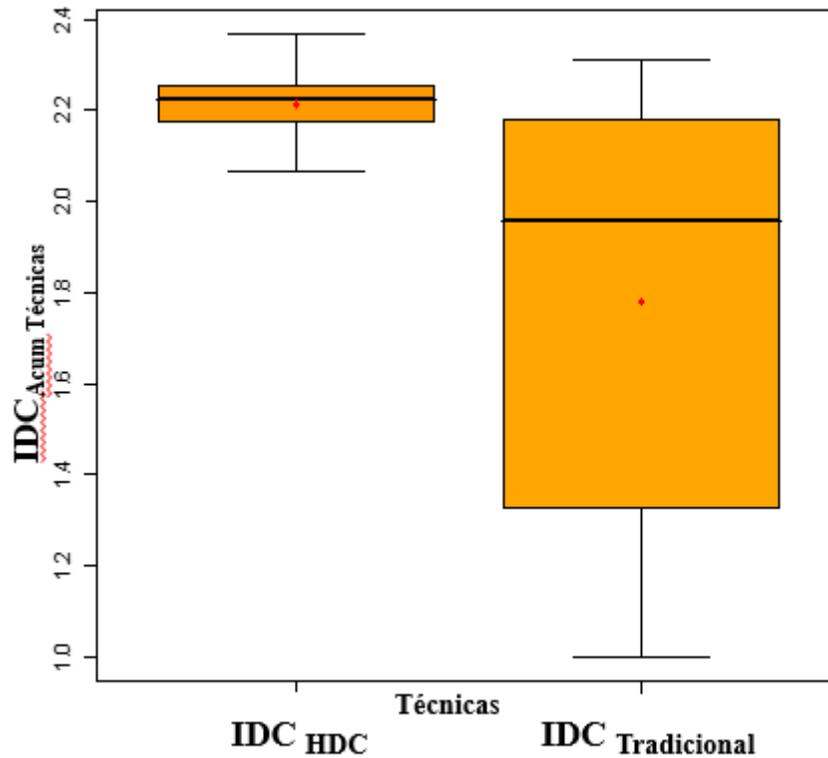


Figura 5.13 – Gráfico de Box Plot do IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 19

Por outro lado, o projeto 13 apresentou o pior resultado da ENT para a técnica proposta. A Figura 5.14 mostra o ENT_{Trad} e o ENT_{HDC} calculados utilizando o IDC_{Trad} e IDC_{HDC} respectivamente. É possível notar que, apesar do ENT_{HDC} apresentar estimativas com menos variação que a ENT_{Trad} , as estimativas apresentadas pela ENT_{HDC} foram erradas e fora dos limites superiores e inferiores.

Estudando o projeto 13 e 22 mais a fundo, foi possível identificar que uma das fases não foi executada em ambos os projetos. A fase de “Correção” não foi executada porque os projetos não apresentaram nenhum defeito ao serem realizados os testes. Dessa forma o Custo Real (CR_{Acum}), foi menor que o esperado e consequentemente o IDC_{Trad} foi maior que o esperado, conforme mostra a Figura 5.15.

Portanto, o pior desempenho da técnica proposta representa um caso anormal ou no mínimo menos freqüente nos projetos avaliados.

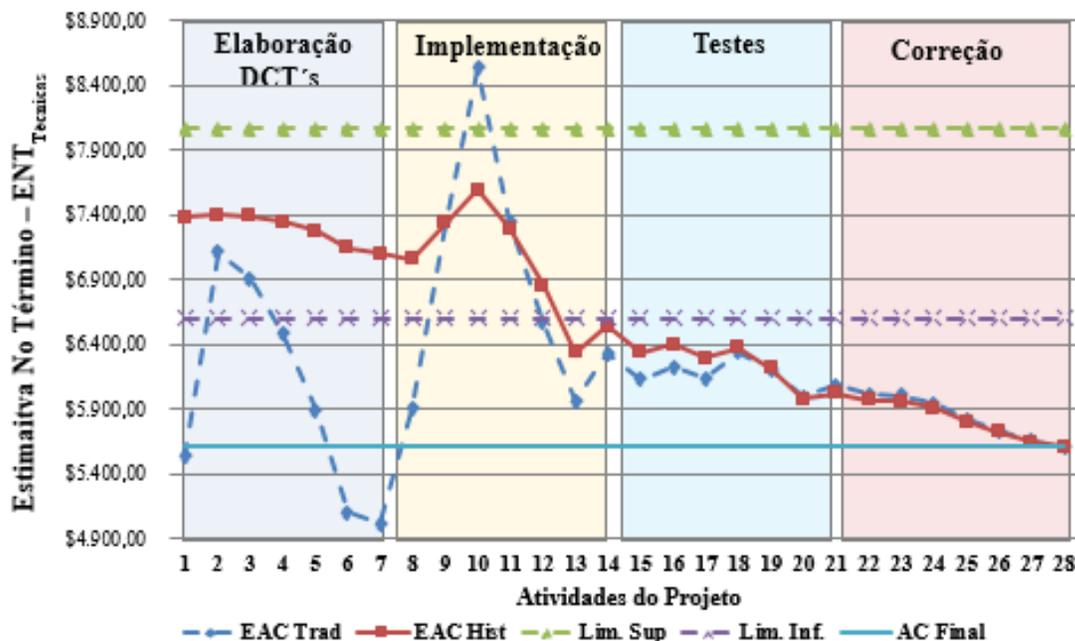


Figura 5.14 – Projeções das ENT_{Trad} e ENT_{HDC} calculadas usando o IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 13

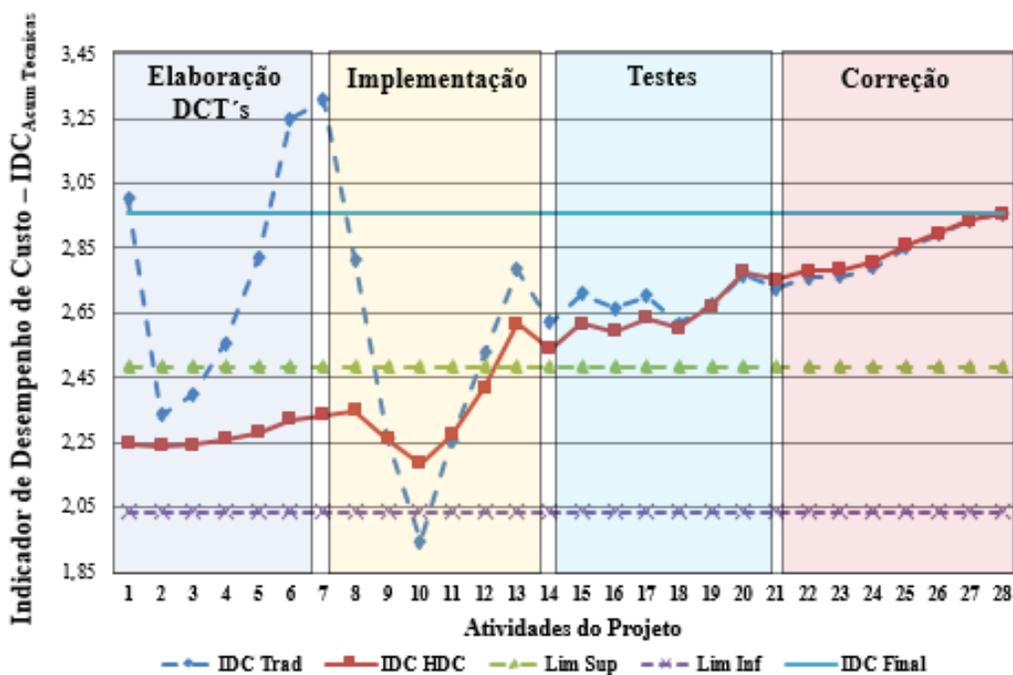


Figura 5.15 – Variações do IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 13

É importante notar que tanto na Figura 5.14 quanto na Figura 5.15 o IDC_{Final} e o CR_{Final} ficaram fora dos limites de especificação.

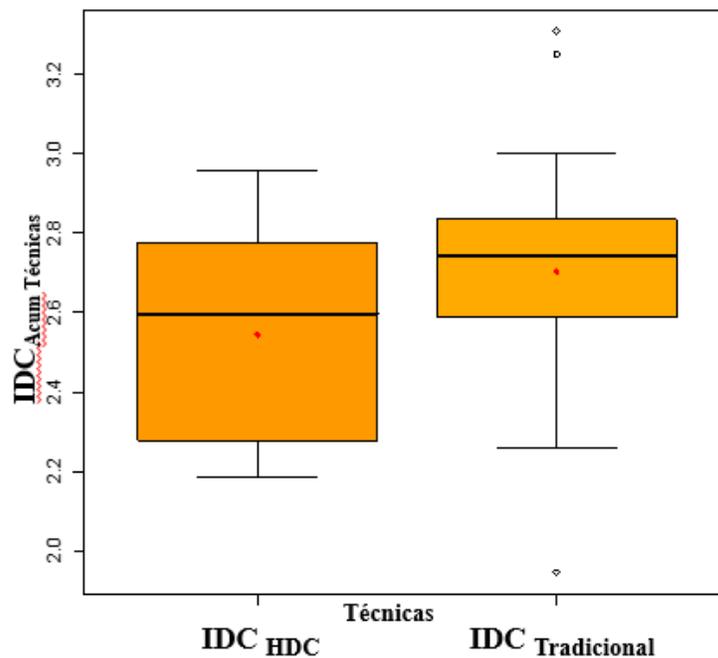


Figura 5.16 – Gráfico de Box Plot do IDC_{Trad} e IDC_{HDC} para o projeto 13

É possível notar no gráfico da Figura 5.16, que a dispersão do IDC_{HDC} foi maior do que a do IDC_{Trad} , justamente no projeto que obteve o pior desempenho entre os que utilizaram a técnica proposta, o que sugere que projetos com menor variação do IDC_{Acum} tendem a apresentar menores erros da ENT.

Finalmente a Figura 5.17 indica que ambas as técnicas apresentam um aumento na exatidão (redução do Erro Médio) quando o projeto progride em sua execução, conforme reportado por diversos autores (CHRISTENSEN *et al.*, 1998, ZWIKAEL, 2000, LIPKE, 2006^a, e HEDERSON e ZWIKAEL, 2008). Entretanto, a técnica proposta provê melhor exatidão da ENT próximo do início, do meio e próximo do final da execução dos projetos em relação á técnica tradicional, conforme mostra a Figura 5.17.

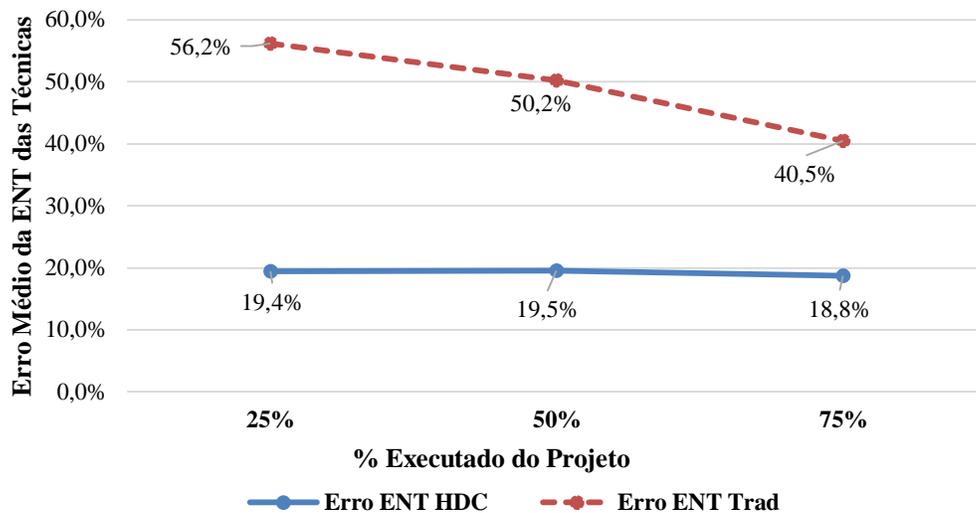


Figura 5.17 – Erro Médio (Exatidão) das ENT’s Trad e ENT’s HDC dos Projetos com 25%, 50% e 75% Executado

A técnica proposta também provê menor variação do IDC_{Acum} próximo do início do meio e do final da execução dos projetos em relação a técnica tradicional, conforme mostra a Figura 5.18. Entretanto, a variação do IDC_{Acum} da técnica proposta aumentou conforme o projeto foi executado. Isso ocorre em função da técnica proposta tentar “calibrar” o IDC_{Acum} usando os dados históricos, quando a tendência no final da execução do projeto é que o IDC_{Acum} se mantenha estável. Ainda que o IDC_{Acum} da técnica proposta aumente sensivelmente no decorrer da execução dos projetos, ele ainda permanece bem inferior ao IDC_{Acum} da técnica tradicional, conforme ilustra a Figura 5.18.

O fato do Erro Médio da ENT calculada com a técnica proposta (Figura 5.17) diminuir, ainda que a variação média do IDC_{Acum} calculado também pela técnica proposta aumente, significa que esse aumento de variação pode estar sendo importante para o cálculo da ENT mais exata.

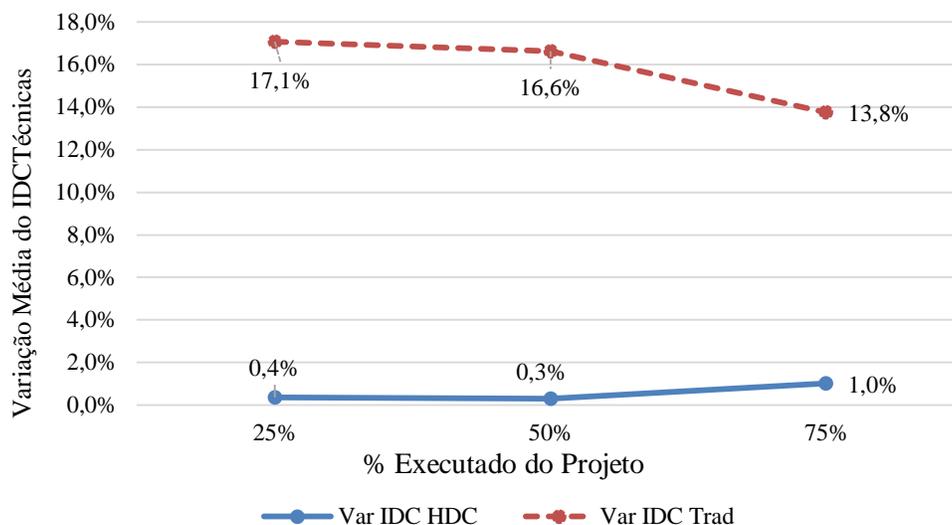


Figura 5.18 – Variação Média (Precisão) dos IDC's Trad e IDC's HDC dos Projetos com 25%, 50% e 75% Executado

5.4.3 Teste de Hipótese das Técnicas

Para avaliar as hipóteses apresentadas anteriormente, testes estatísticos foram realizados sobre os dados das Tabelas 5.3 e 5.4, para confirmar se as diferenças encontradas no Erro Médio (Exatidão) da ENT e da Variação (Precisão) dos IDC_{Acum} são significativas. A ferramenta *Action* foi utilizada para realizar os testes de hipótese de T amostras pareadas com 95% de significância.

Tabela 5.5 – Testes de Hipóteses do Erro Médio (Exatidão) da Estimativa No Término (ENT). Projetos com 25%, 50%, 75% e 100% executados – 95% de Significância

Hipoteses	Testes	T	P	Conclusões
H0 Exatidão 25%	$\text{Erro}_{\text{ENT Trad 25\%}} - \text{Erro}_{\text{ENT HDC 25\%}} = 0$	2,97	$5,75 \times 10^{-3}$	Refutar H0
H0 Exatidão 50%	$\text{Erro}_{\text{ENT Trad 50\%}} - \text{Erro}_{\text{ENT HDC 50\%}} = 0$	2,82	$7,73 \times 10^{-3}$	Refutar H0
H0 Exatidão 75%	$\text{Erro}_{\text{ENT Trad 75\%}} - \text{Erro}_{\text{ENT HDC 75\%}} = 0$	2,94	$6,12 \times 10^{-3}$	Refutar H0
H0 Exatidão Total	$\text{Erro}_{\text{ENT Trad Total}} - \text{Erro}_{\text{ENT HDC Total}} = 0$	2,73	$9,07 \times 10^{-3}$	Refutar H0

A análise dos dados presentes nas Tabelas 5.3, 5.4 e 5.5 mostram que a técnica proposta apresenta maior Exatidão (menor Erro Médio) da ENT com 95% de significância, quando os projetos foram 25%, 50% e 75% executados e no geral, considerando os três momentos.

A análise dos dados presentes nas Tabelas 5.3, 5.4 e 5.6 mostram que a técnica proposta apresenta maior Precisão (menor Variação Média) do IDC_{Acum} com 95% de significância, quando os projetos foram 25%, 50% e 75% executados e no geral, considerando os três momentos.

Tabela 5.6 – Testes de Hipóteses da Variação Média (Precisão) do Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}). Projetos com 25%, 50%, 75% e 100% executados – 95% de Significância

Hipoteses	Testes	T	P	Conclusões
H_0 Variação 25%	$Var_{IDC\ Trad\ 25\%} - Var_{IDC\ HDC\ 25\%} = 0$	4,63	$2,8 \times 10^{-5}$	Refute H_0
H_0 Variação 50%	$Var_{IDC\ Trad\ 25\%} - Var_{IDC\ HDC\ 25\%} = 0$	5,07	$1,36 \times 10^{-4}$	Refute H_0
H_0 Variação 75%	$Var_{IDC\ Trad\ 25\%} - Var_{IDC\ HDC\ 25\%} = 0$	6,52	$1,4 \times 10^{-5}$	Refute H_0
H_0 Variação Total	$Var_{IDC\ Trad\ Total} - Var_{IDC\ HDC\ Total} = 0$	6,23	$2,18 \times 10^{-5}$	Refute H_0

5.4.4 Ameaças ao estudo

Esta tese utilizou um estudo empírico para avaliar a técnica proposta. Estudos empíricos podem apresentar ameaças a sua validade. Assim as ameaças a este estudo serão apresentadas em três categorias: (i) Ameaças à validade interna, (ii) Ameaças à validade externa e (iii) Validade de conclusão.

(i) Ameaças à Validade Interna

De acordo com WÖHLIN *et al.* (2000) as ameaças à validade interna observam se o tratamento realmente causou os resultados esperados.

Neste estudo, os resultados esperados eram a redução da variação no IDC_{Acum} e o aumento da exatidão da ENT. O objetivo esperado foi atingido com a aplicação da técnica proposta como pode ser comprovado através dos testes de hipóteses apresentados. Entretanto, é necessário considerar que a técnica foi avaliada através de um estudo empírico usando dados de projetos reais de uma única fábrica de software, com projetos

similares. Todos os projetos utilizados eram de um mesmo domínio de aplicação e isso pode ter influenciado no comportamento das fases.

O uso da técnica proposta é sugerido para cenários similares, onde os projetos são executados utilizando um modelo de ciclo de vida com fases iguais e com a mesma tecnologia. Entretanto, é importante que estudos mais abrangentes, com dados de mais empresas, sejam conduzidos a fim de confirmar as hipóteses apresentadas.

(ii) Ameaças à Validade Externa

De acordo com WÖHLIN *et al.* (2000), a validade externa verifica se é possível generalizar os resultados. Conforme discutido na subseção anterior, não é possível generalizar os resultados, uma vez que os projetos analisados eram de uma única fábrica de software. É recomendável que os que desejam utilizar a técnica façam uma análise preliminar, com dados históricos de desempenho e avaliem o aumento ou redução da variação do IDC_{HDC} , comparando-o com o IDC_{Trad} , antes de utilizá-la. É recomendável ainda que seja avaliado o ganho de exatidão da ENT_{HDC} em relação a ENT_{Trad} .

(iii) Validade de Conclusão

De acordo com WÖHLIN *et al.* (2000), a validade de conclusão avalia se os resultados foram significativos estatisticamente.

O principal problema nesse estudo foi o número de amostras ou projetos disponíveis para conduzir os testes de hipótese. Esse é um problema conhecido na Engenharia de Software. Assim o resultado não pode ser considerado conclusivo, mas uma indicação de que a técnica funciona. Antes de utilizar a técnica proposta, em outros contextos é recomendável realizar um estudo similar a esse e aferir os resultados.

5.5 Avaliação da Técnica de GVA com Dados Históricos de Qualidade (GVA_{HDQ})

A extensão da técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) com dados históricos de qualidade apresentada no capítulo 3, também, foi avaliada através de um estudo de caso com projetos reais. Entretanto, os projetos utilizados tinham apenas uma fase do modelo de ciclo de vida com dados históricos de qualidade; a fase “Correção de Defeitos”

Sendo assim, a primeira fase do ciclo de vida que poderia gerar dados para a realização das projeções era a fase de Teste. A fase de teste de software foi a penúltima a ser executada (normalmente próximo de 70% de execução do projeto). Assim as equações de projeção da ENT_{Qual} só puderam ser executadas a partir desse ponto.

Portanto, se a técnica fosse avaliada conforme o estudo de caso anterior, ou seja, avaliando o ganho de exatidão e de precisão com 25%, 50% e 75% de execução, as equações relacionadas a projeção da qualidade ficariam fora do estudo.

Sendo assim, optou-se por avaliar a técnica em diferentes momentos, sendo: (i) antes da fase de teste ser executada, utilizando a estimativa de custo do Total de Defeitos Esperados (TDE) que pode ser calculada usando as equações(18) a (20), (ii) durante e após a execução do processo de teste, através do ENT_{Qual} , utilizando as equações (18) a (30), (iii) e finalmente, no geral, considerando todo o projeto, utilizando novamente as equações (18) a (30). As equações 18 a 30 citadas fazem parte da proposta de integração de dados de qualidade à técnica de GVA e estão descritas no capítulo 3 desta tese.

5.5.1 Coleta de Dados de Qualidade

O presente estudo de caso utilizou todos os dados utilizados no estudo de caso anterior e mais os dados de qualidade presentes na Tabela 5.8.

Os dados de qualidade foram coletados diariamente através de uma extensão da ferramenta Mantis, que permitia ao usuário testador reportar os defeitos encontrados nos projetos, atribuí-los a um desenvolvedor, que o corrigia e atualizava o esforço real no *Mantis* e na ferramenta *XPlanner*.

Para o cálculo do custo necessário para o estudo de caso, foram utilizados o esforço estimado e o esforço real presentes na Tabela 5.7. As linhas cinzas da Tabela 5.7 representam os diferentes períodos do estudo.

Tabela 5.7 – Dados de Qualidade Coletados dos Projetos

Projetos	Número de Defeitos Reportados	Esforço Real para Resolver os Defeitos (*)	Esforço Planejado para Resolver os Defeitos (*)	Esforço Total do Projeto (*)	Períodos	
P1	11	6.0	17.7	132.0	11/03/09 a 01/04/09	P1
P2	6	5.1	15.2	182.5	16/03/09 a 06/04/09	
P3	8	8.5	13.0	157.03	23/03/09 a 16/04/09	
P4	1	1.0	7.05	84.45	26/03/09 a 17/04/09	
P5	1	0.4	13.7	174.2	20/04/09 a 19/05/09	
P6	8	12.4	22.9	83.7	20/04/09 a 19/05/09	
P7	2	4.4	7.1	98.0	20/04/09 a 13/06/09	
P8	5	5.4	11.7	135.4	29/04/09 a 15/05/09	
P9	2	0.2	9.5	107.4	29/04/09 a 20/05/09	
P10	3	5.0	10.7	121.9	21/05/09 a 09/06/09	
P11	2	0.8	8.0	127.2	15/06/09 a 30/06/09	P3
P12	3	2.2	5.5	77.5	29/06/09 a 10/07/09	
P13	0	0.0	4.3	55.3	29/07/09 a 10/08/09	P4
P14	5	2.7	5.0	62.1	11/08/09 a 20/08/09	
P15	1	0,3	1,4	30,0	12/08/09 a 20/08/09	
P16	2	1.8	6.2	54.1	21/08/09 a 04/09/09	P5
P17	1	3.0	7.7	87.7	01/09/09 a 18/09/09	
P19	0	0.0	6.3	75.7	14/09/09 a 30/09/09	P6
P20	6	8.6	30.7	289.5	19/10/09 a 16/11/09	P7
P21	0	0.0	1.9	31.2	01/12/09 a 31/12/09	
P22	2	1.8	16.1	208.7	04/01/10 a 20/01/10	

(*) Nota: Esforço em Homens Hora para todas as colunas marcadas.

5.5.2 Análise do Erro Médio (Exatidão) da ENT das Técnicas

O objetivo da técnica de GVA que utiliza dados históricos de qualidade é permitir a integração de dados de qualidade, como um meio de melhorar a previsão de custo dos projetos. As equações propostas na seção 3 desse trabalho avaliam a variação de custo proveniente do Número de Defeitos Esperados (NDE) e Número de Defeitos Identificadas

(NDI) e fazem novas projeções de custos com base em indicadores gerados com essas duas medidas básicas.

Dessa forma, inicialmente optou-se por avaliar o ganho de exatidão da técnica em relação à Estimativa No Término (ENT) dos projetos, assim como no estudo de caso anterior. Entretanto, já nos primeiros projetos em que a técnica foi aplicada notou-se que apesar da ENT da fase de correção de defeitos ter apresentado melhor exatidão que a ENT da mesma fase calculada com a técnica tradicional, a ENT final do projeto não refletia necessariamente esses resultados. Isso não deveria ocorrer, pois uma melhor exatidão de uma parte da fase deveria resultar na correção da ENT_{Qual} e consequentemente em melhor exatidão do projeto como um todo.

A técnica proposta calcula uma ENT_{Qual} levando em consideração a Estimativa de Defeitos Extras Para Completar (EDXPC) e a Variação de Custo de Defeitos (VCQ), conforme a equação a seguir:

$$ENT_{Qual} = ENT_{Trad} + VCD,$$

No estudo de caso em questão a fase de correção dos defeitos representava entre 5% a 8% do custo total do projeto. Sendo assim uma variação de 20% a 40% no custo dos defeitos, por exemplo, resultaria em uma VC do projeto de cerca de 1% a 3,2% (positiva ou negativa), ou seja, 5% de 20% de variação mínima (=1%), a 8% de 40% de variação máxima (3,2%). Sendo assim é esperado que a ENT_{Qual} tenha valores muito próximos da ENT_{Trad} , independente da técnica prover melhor exatidão dessa fase de ciclo de vida ou não, conforme ilustra a Figura 5.19.

Em função disso foi observado um padrão que se repetia nos projetos e dificultava a avaliação da técnica. Esse padrão era o seguinte:

- Quando a VCD é negativa e:
 - (**$CR_{Final} > ENT_{Trad}$**): O CR_{Final} é maior que o ENT_{Trad} em determinado momento. Nesse caso a ENT_{Qual} será menor que ENT_{Trad} e provavelmente **menos** exata que ela, conforme ilustra a Figura 5.19 no cenário 1.1.
 - (**$CR_{Final} < ENT_{Trad}$**): O CR_{Final} é menor que o ENT_{Trad} em determinado momento. Nesse caso a ENT_{Qual} será menor que

ENT_{Trad} e provavelmente **mais** exata que ela, conforme ilustra a Figura 5.19 no cenário 1.2.

- Quando a EDX é positiva e:
 - (**CR_{Final}** > ENT_{Trad}): O CR_{Final} é maior que o ENT_{Trad} em determinado momento. Nesse caso a ENT_{Qual} será maior que ENT_{Trad} e provavelmente **mais** exata que ela, conforme ilustra a Figura 5.20 no cenário 2.1.
 - (**CR_{Final}** < ENT_{Trad}): O CR_{Final} é menor que o ENT_{Trad} em determinado momento. Nesse caso a ENT_{Qual} será maior que ENT_{Trad} e provavelmente **menos** exata que ela, conforme ilustra a Figura 5.20 no cenário 2.2.

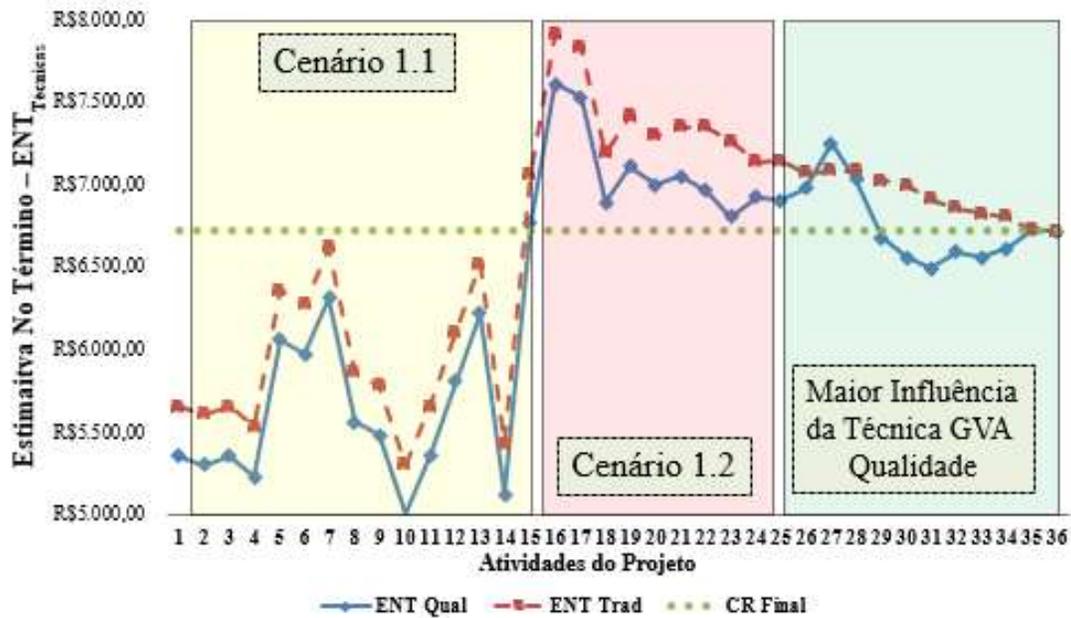


Figura 5.19 – ENT_{Qual} e ENT_{Trad} Quando VCD for Negativo

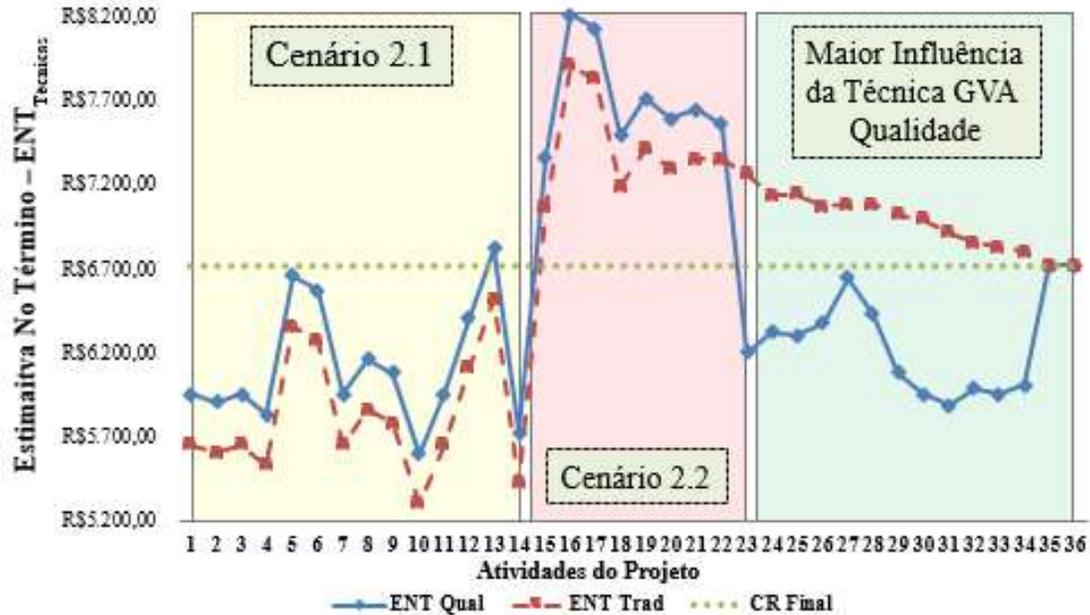


Figura 5.20 – ENT_{Qual} e ENT_{Trad} quando VCD for Positivo

Em todos os cenários descritos não importa se a técnica GVA Qualidade forneceu melhor previsão de custo da estimativa de custo para a fase do ciclo de vida utilizado. A ENT_{Trad} terá uma influência maior no resultado da ENT_{Qual} em quase todo o projeto, resultando em resultados menos ou mais exatos independente do quão exato é a previsão da técnica proposta para a fase do ciclo de vida que está sendo utilizado. A mesma situação se aplica quando a técnica é utilizada junto com a técnica GVA_{HDC} , como ilustra a Figura 5.21.

A única diferença observada é que GVA_{HDC} apresentou resultados mais exatos que a técnica de GVA_{Trad} .

É importante destacar que esse não é necessariamente um problema da técnica, mas da posição na qual a fase do ciclo de vida que está sendo utilizado para validá-la se encontra, ou seja, esse padrão observado é uma particularidade do estudo de caso, mas que não impede que a técnica seja avaliada.

Em função disso, optou-se por validar a técnica analisando apenas a exatidão da Estimativa de Defeitos Para Completar (EDPC) fornecida para a fase de Correção ao invés da ENT do projeto como um todo, pois a EDPC fornece a projeção de custo proposta pela técnica de GVA Qualidade para a fase utilizada. É importante ressaltar, que a EDPC

corresponde na técnica proposta, a ENT da técnica tradicional, quando analisada a apenas a fase da qual se quer fazer a projeção de custo, de maneira isolada.

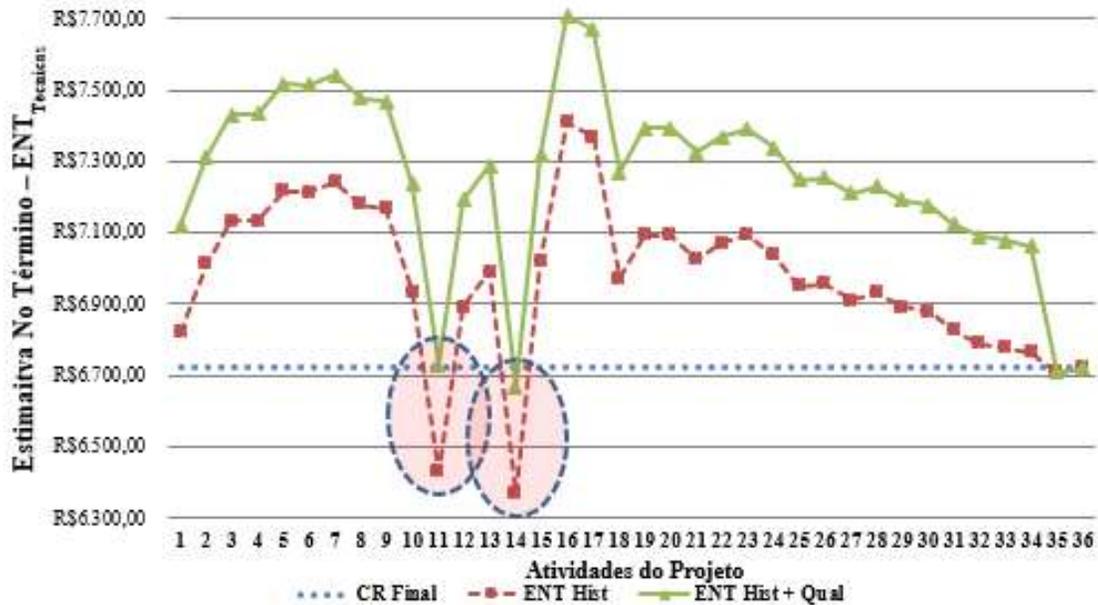


Figura 5.21 – ENT_{Hist} e ENT_{Qual} Quando VCD for Negativo

Assim como o estudo conduzido no capítulo 3, este estudo teve como objetivo responder à seguinte pergunta: “A técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) tradicional apresenta maior Exatidão (Menor Erro) da Estimativa No Término (ENT) que a técnica GVA com dados históricos de qualidade (utilizando o Orçamento No Término (ONT, calculado através da Estimativa de Esforço de Resolução de Defeitos (EERD) (para o teste de hipótese antes da execução da fase de teste))?”

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

- **H0_{Exatidão}**: a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT igual à ONT da técnica de GVA com dados históricos de qualidade.
 - $Erro_{ENT\ GVA\ Tradicional} - Erro_{ONT\ GVA\ H.D.Q.} = 0$
- **H1_{Exatidão}**: a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT inferior à ONT da técnica de GVA com dados históricos de qualidade.
 - $Erro_{ENT\ GVA\ Tradicional} - Erro_{ONT\ GVA\ H.D.Q.} > 0$

Para calcular a exatidão ou o Erro da ONT_{Qual} da técnica de GVA_{DHQ} , antes da fase de Teste ser executado, comparou-se o ONT_{Qual} (calculado através da EERD) com $CR_{Acum Final}$, ambos da fase de correção utilizando a seguinte equação:

$$\mathbf{Erro}_{GVA\ HDQ\ Antes\ Teste\ Atividade\ (N)} = \left| 1 - \frac{CR_{AcumFinal}}{ENT_{Qual}} \right|, \quad (35)$$

Onde:

- ONT_{Qual} foi calculado utilizando as equações (18) a (20) do capítulo 3, que gera o Total de Defeitos Esperados (TDE) e a EERD, que foi multiplicada pelo valor homem hora da empresa;

O Erro da ENT da técnica tradicional de GVA foi calculado comparando-se a Estimativa No Término (ENT) com o $CR_{Acum Final}$, mais uma vez, ambos da fase de correção, através da seguinte equação:

$$\mathbf{Erro}_{ENT\ Tradicional\ Antes\ Teste\ Atividade\ (N)} = \left| 1 - \frac{CR_{Acum\ Final}}{ENT} \right|, \quad (36)$$

O Erro Médio de ambas as técnicas foi calculado utilizando a equação a seguir:

$$\mathbf{Erro\ Médio}_{\langle\langle\ T\acute{e}cnica\ \rangle\rangle} = \frac{\sum_1^N \mathbf{Erro}_{\langle\langle\ T\acute{e}cnica\ \rangle\rangle\ Atividade\ N}}{N}, \quad (37)$$

Optou-se por não calcular a precisão da técnica, tendo em vista que o ONT_{Qual} não variaria até a execução da fase de teste. Dessa forma a variação do IDC_{Qual} seria sempre igual ao IDC_{Trad} .

Uma nova hipótese foi definida para avaliar a técnica durante a execução da fase de teste e de correção. Essa hipótese utilizará a Estimativa de Defeitos para Completar (EDPC) ao invés do Orçamento No Término (ONT).

Assim a nova questão de pesquisa foi: “A *técnica de Gerenciamento de Valor Agregado (GVA) tradicional apresenta maior Exatidão (Menor Erro) que a técnica GVA com dados históricos de qualidade (utilizando a Estimativa de Defeito para Completar (EDPC) (durante e após a execução do processo de teste))?*”

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

- **$H_{O_{Exatid\tilde{a}o}}$** : a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT igual à $ONT + EDPC$ da técnica de GVA com dados históricos de qualidade.

$$\circ \quad \mathbf{Erro}_{ENT\ GVA\ Tradicional} - \mathbf{Erro}_{ONT + EDPC\ GVA\ H.D.Q.} = 0$$

- **H1_{Exatidão}**: a técnica de GVA tradicional apresenta exatidão da ENT inferior à ONT + EDPC da técnica de GVA com dados históricos de qualidade.

$$\circ \text{ Erro}_{\text{ENT GVA Tradicional}} - \text{Erro}_{\text{ONT + EDPC GVA H.D.Q.}} > 0$$

Para calcular a exatidão ou o Erro da EDPC da técnica de GVA_{HDQ}, durante e após a fase de Teste ser executada, comparou-se o EDPC com CR_{Acum Final}, ambos da fase de correção utilizando a seguinte equação:

$$\text{Erro}_{\text{GVA HDQ EDPC Dur. ou Após Teste At. (N)}} = \left| 1 - \frac{\text{CR AcumFinal}}{\text{ONT e EDPC}} \right|, \quad (38)$$

Onde:

- EDPC foi calculada utilizando as equações (18) a (27) do capítulo 3;

O Erro da ENT da técnica tradicional de GVA foi calculado como na equação (36).

O Erro Médio de ambas as técnicas foi calculado utilizando a equação (37).

A EDPC foi utilizada durante e após a execução da fase de Teste porque após a execução dessa fase, havia dados para fazer a projeção de custos dos defeitos.

Os dados apresentados na Tabela 5.7 foram utilizados para calcular o ONT_{Qual}, a EDPC e a ENT_{Trad}, com base nas equações apresentadas no Capítulo 3. Os erros apresentados por cada técnica são apresentados na Tabela 5.8.

A Tabela 5.8 mostra o Erro Médio da ENT de cada técnica para 13 projetos. Conforme descrito anteriormente, os projetos foram avaliados considerando-se o Erro da ENT_{Qual} e do ONT_{Qual} antes da fase de teste ser executada, durante e depois de sua execução e durante o projeto como um todo. Não foram coletados os erros dos 9 primeiros projetos, porque eles formaram a base de dados histórica inicial para a realização das projeções dos indicadores dos projetos do segundo período, pela técnica proposta.

A Figura 5.22 mostra em seu eixo X os projetos que foram avaliados, e no eixo Y, o erro médio da ONT_{Qual} e ENT_{Trad}.

Tabela 5.8 – Erro Médio (Exatidão) da Estimativa No Término (ENT), das Técnicas

Períodos →	Antes Execução Teste		Durante / Após Execução Teste		Em Geral		Períodos
Projetos	ONT _{EERD}	ENT _{Trad}	ONT _{EDPC}	ENT _{Trad}	ONT _{EERD e EDPC}	ENT _{Trad}	
P. 10	10.19	25.40	18.99	10.95	14.41	18.46	P2
P. 11	81.81	76.45	76.69	81.90	80.63	77.59	P3
P. 12	27.56	48.53	45.83	43.02	36.26	45.91	
P. 13	190.00	165.75	95.00	155.3	144.14	160.7	P4
P. 14	26.36	65.20	31.92	149.1	29.14	107.6	
P.15	70,96	91,79	66,77	90,78	68,16	91,12	
P. 16	5.90	59.60	17.17	27.72	13.41	38.35	P5
P. 17	8.88	79.45	62.01	36.3	34.38	58.74	
P. 19	250.00	470.88	125.0	296.54	189.19	386.07	P6
P. 20	4.79	29.72	41.49	50.53	23.14	40.13	P7
P. 21	97.34	140.55	51.0	114.83	75.53	128.45	
P. 22	72.36	68.58	25,41	69,58	37.65	35.96	

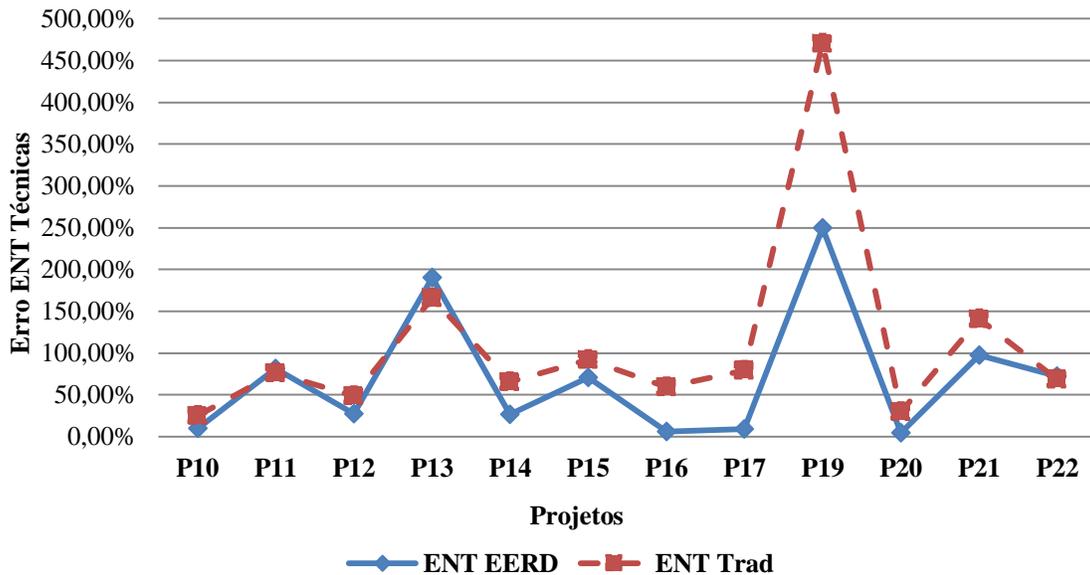


Figura 5.22 – Erro Médio ENT_{EERD} e ENT_{Trad} Antes da Execução da Fase de Teste

O ganho de exatidão da técnica proposta, considerando as atividades antes da execução da fase de teste, ou seja, considerando o ENT_{EERD} da fase de correção calculado pela técnica foi 220% superior comparado a ENT_{Trad} no projeto 19. E o pior desempenho ocorreu no projeto 13, onde houve exatidão 24,25% menor que a técnica tradicional, conforme pode ser visto na Tabela 5.8 e na Figura 5.22.

A Figura 5.23 mostra o erro médio da técnica GVA Qualidade e da técnica GVA tradicional durante a fase de teste, ou seja, já com a projeção do ENT_{EDPC} com base no Indicador de Desempenho de Defeitos. É possível notar que houve perda de exatidão da técnica proposta nos projetos 10 e 12 por muito pouco e no projeto 17 por uma diferença maior de 28%. Entretanto, houve ganho de exatidão de 171% no projeto 19, como pode ser visto na Figura 5.23 e Tabela 5.8.

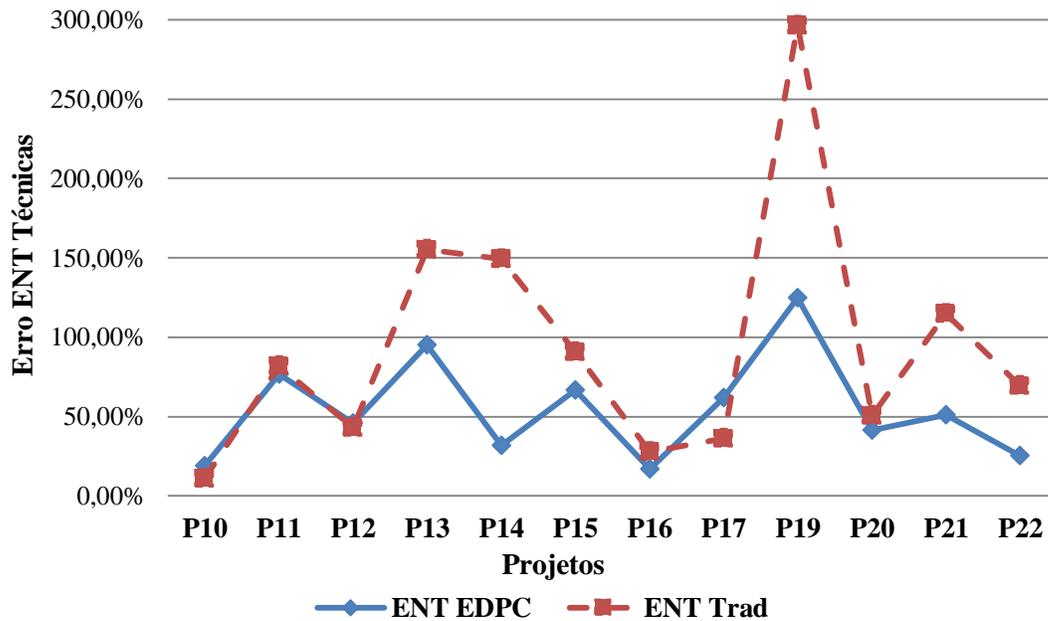


Figura 5.23 – Erro Médio ENT_{EDPC} e ENT_{Trad} Durante e Após a Execução da Fase de Teste

Finalmente a Figura 5.24 mostra o erro médio da técnica GVA_{HDQ} (considerando o ENT_{EERD} e $EDPC$) e a ENT_{Trad} da técnica GVA tradicional, considerando todas as atividades dos projetos considerados no estudo.

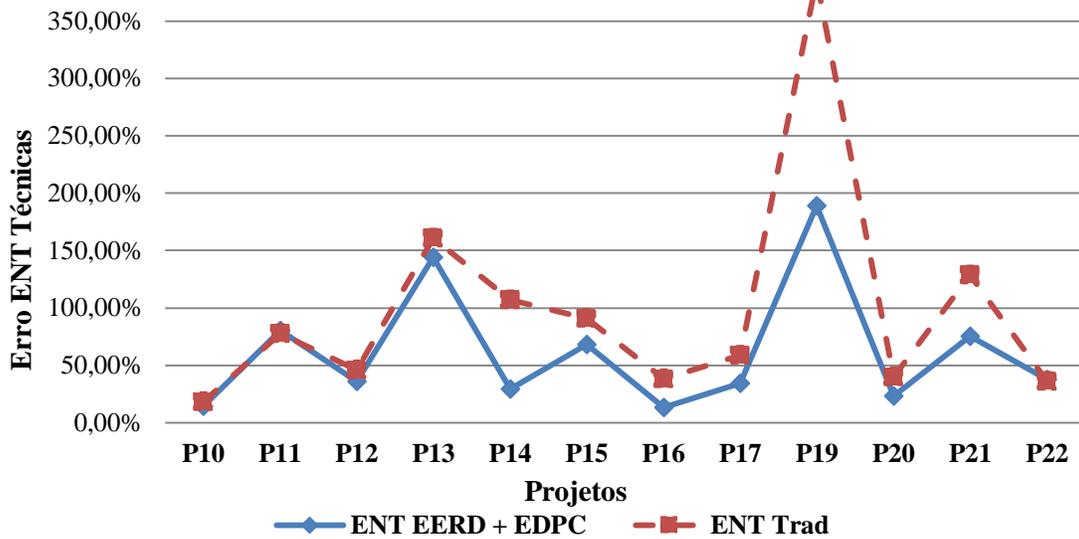


Figura 5.24 – Erro Médio de Todas as Atividades dos Projetos GVA Qualidade (Considerando $ENT_{EERD e EDPC}$ representado pelo EERD e EDPC) e GVA Tradicional considerando ENT_{Trad}

A técnica de GVA Qualidade perdeu em exatidão da técnica proposta apenas nos projetos 11 e 22, e com uma diferença muito pequena, de 3% e 2% respectivamente, conforme a Figura 5.24 e a Tabela 5.8. Não há uma justificativa para a pequena perda de exatidão nesses 2 projetos.

Para avaliar os testes de hipóteses apresentados no início dessa seção, foram feitos testes estatísticos utilizando os dados da Tabela 5.8, para confirmar se as diferenças de exatidão encontradas eram significativas. A ferramenta *Action* foi utilizada para realizar o teste de hipótese de T amostras pareadas, com 95% de nível de significância.

Tabela 5.9 – Teste de Hipótese de Exatidão 95% de Significância

Hipóteses	Testes	T	P	Conclusão
H_0 Exatidão Antes Processo de Teste	$ERRO_{ENT.Trad.} - ERRO_{ENT.EERD} > 0$	2,13	0,028	Refutar H_0
H_0 Exatidão Durante e Depois do Processo de Teste	$ERRO_{ENT.Trad.} - ERRO_{ENT.EDPC} > 0$	2,20	0,024	Refutar H_0
H_0 Exatidão Geral	$ERRO_{ENT.Trad.} - ERRO_{ENT.EERD + EDPC.Qual.} > 0$	2,13	0,028	Refutar H_0

A um nível de significância de 95% não foi possível rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa. Entretanto, fornecem indícios de que a técnica proposta apresenta melhor exatidão que a técnica tradicional, considerando o erro médio, com 90% de significância.

5.5.3 Ameaças à Validade do Estudo

Coforme descrito no estudo de caso anterior a esse, todo estudo de caso possui ameaças à sua validade. Novamente as ameaças desse estudo serão analisadas dentro de três categorias: (i) ameaças à validade interna, (ii) ameaças à validade externa e (iii) Validade de Conclusão.

(i) Ameaças à Validade Interna

De acordo com WÖHLIN *et al.* (2000) as ameaças à validade interna observam se o tratamento realmente causou os resultados esperados.

Neste estudo, os resultados esperados eram a redução do erro médio da ENT da técnica proposta. O objetivo esperado foi atingido com a aplicação da técnica proposta como pode ser comprovado através dos testes de hipóteses apresentados. Os resultados da técnica proposta poderiam ser ainda melhores se os projetos utilizados no estudo tivessem mais atividades na fase avaliada.

Todos os projetos utilizados no estudo tinham poucas atividades, o que causa uma grande variação no Indicador de Desempenho de Defeitos (IDD) e conseqüentemente na Estimativa de Defeitos para Completar (EDPC). Projetos com mais atividades provavelmente trariam melhores resultados.

Outro fator importante é que a técnica proposta foi utilizada no final do projeto, onde o IDC_{Acum} varia muito pouco na técnica tradicional, ou seja, a técnica foi utilizada inclusive em momentos nos quais a variação da técnica tradicional é pequena e a exatidão grande. Se a fase de teste estivesse no meio da execução dos projetos, os resultados também poderiam ser ainda melhores.

Entretanto, é necessário considerar que a técnica foi avaliada através de um estudo empírico em uma fábrica de software que tinha projetos similares. Todos os projetos eram do mesmo domínio de aplicação e isso pode ter influenciado os resultados de alguma maneira.

(ii) Ameaças à Validade Externa

De acordo com WÖHLIN *et al.* (2000), a validade externa verifica se é possível generalizar os resultados. Conforme discutido na subseção anterior, não é possível generalizar os resultados, uma vez que os projetos analisados eram de uma única fábrica de software. É recomendável que os que desejem utilizar a técnica façam uma análise preliminar, com dados históricos de qualidade e avaliem o aumento ou redução da exatidão do ONT_{Qual} e do EDPC, comparando-o com o ENT_{Trad} , antes de utilizá-la em outros contextos.

(iii) Validade à Conclusão

De acordo com WÖHLIN *et al.* (2000), a validade à conclusão avalia se os resultados foram significativos estatisticamente.

Mais uma vez, o principal problema nesse estudo foi o número de amostras ou projetos disponíveis para conduzir os testes de hipótese. Esse é um problema conhecido na Engenharia de Software. Assim o resultado não pode ser considerado conclusivo, mas uma indicação de que a técnica funciona. Antes de utilizar a técnica proposta, as empresas são recomendadas a realizar um estudo similar a esse e aferir os resultados.

5.6 Considerações Finais

Esse capítulo descreveu dois estudos de caso, conduzidos com o objetivo de validar as técnicas propostas no Capítulo 3.

A técnica de GVA_{HDC} foi avaliada através da Exatidão (Erro Médio da ENT) e da Precisão (Variação Média do IDC_{Acum}), próximo do início, no meio e próximo do término da execução dos projetos, e considerando o erro ou variação de todas as atividades dos projetos.

A técnica GVA_{HDC} mostrou-se mais exata e mais precisa que a técnica tradicional em todos os momentos. Foram realizados testes de hipótese para confirmar os resultados e os testes de hipótese confirmaram as hipóteses para um nível de significância de 95%.

Já a técnica proposta de GVA_{HDQ} foi avaliada segundo a sua capacidade de estimar a quantidade de defeitos de uma fase do ciclo de vida, através do ONT_{Qual} , inicialmente e posteriormente foi avaliada a sua capacidade de fazer a projeção de custo usando a EDPC,

com base no indicador proposto de IDD_{Acum} . Para ambos os momentos foi avaliada somente a sua exatidão.

A precisão dessa segunda proposta de extensão da técnica de GVA não foi avaliada, porque a variação do IDC_{Acum} dela seria sempre igual ao da técnica proposta até a execução da fase de teste do estudo de caso. Após a execução da fase de teste o projeto estaria muito próximo do término e o IDC_{Acum} da técnica proposta teria uma variação muito pequena, e portanto, seria mais baixa.

A exatidão da técnica proposta de GVA_{HDQ} foi melhor que a técnica tradicional nos três momentos avaliados. A técnica de GVA_{HDQ} também foi submetida a testes de hipóteses cujos resultados confirmaram que ela provê melhor exatidão que a técnica tradicional, seja através do ONT_{Qual} ou do EDPC.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Neste capítulo as conclusões deste trabalho são apresentadas, resumindo os objetivos e os resultados obtidos com as avaliações realizadas nas diversas versões das técnicas apresentadas. Por fim as perspectivas futuras em relação a evolução da técnica e das avaliações realizadas são apresentadas.

6.1 Considerações Finais

Uma variação mais simplificada da técnica de Gerência de Valor Agregado (GVA) já era aplicada por engenheiros para gerência de projetos, no final do século XIX (FLEMING *et al.*, 2000). Por volta de 1967, o GVA foi introduzido por agências do governo federal americano, entre elas pelo Departamento de Defesa (DoD), como parte do sistema de controle de custo e prazo (*Cost/Schedule Control System Criteria (C/SCSC)*), sendo utilizado em grandes programas de aquisição (ANBARI, 2003).

Ainda que considerado muito burocrático, o C/SCSC foi utilizado por mais de 30 anos, para controlar os riscos de crescimento de custos em projetos governamentais. Paralelo a isso, o mercado reconheceu a importância de GVA como mecanismo de controle de custos e, em 1995, um grupo formado pela Associação Nacional de Indústria Defensiva (NDIA) reescreveu o conjunto de critérios que definiam o Gerenciamento de Valor Agregado criado pelo DoD, de modo a torná-lo mais adequado à indústria privada americana (VARGAS, 2013).

A evolução dos critérios presentes na C/SCSC e a incorporação dos critérios definidos pela NDIA permitiu a criação da norma ANSI/EIA-748 (ANSI/EIA-748, 1998).

A técnica tornou-se tão importante, que em 1993 o Congresso Americano publicou três atos (*Government Performance Act* de 1993, *Federal Acquisition Streamlining Act* de 1994 e o *Information Technology Management Reform Act* de 1996) que, a partir dessa data, requerem a aplicação de alguma forma de Gerenciamento de Valor Agregado em todos os projetos desenvolvidos pelos Estados Unidos, tornando-se uma política oficial de

controle em todos os contratos do governo federal americano desde 1998 (VARGAS, 2013).

O objetivo principal dessa tese foi melhorar a previsão de custo dos projetos, que é representada como a Estimativa No Término (ENT). A ENT é calculada usando o Indicador de Desempenho de Custo (IDC_{Acum}). Se o IDC_{Acum} mantiver uma menor variação, o erro da técnica provavelmente também será menor.

Sendo assim, os objetivos dessa tese foram: (i) reduzir o erro médio da ENT, em relação ao CR_{Final} apurado, e (ii) reduzir a variação média do IDC_{Acum} , utilizando dados históricos de desempenho de custo, e/ou dados históricos de qualidade.

6.2 Contribuições

As principais contribuições dessa tese são:

- Uma revisão sistemática, que identificou diversos problemas apresentados pela técnica de GVA e algumas propostas de solução;
- Proposta de duas extensões para a técnica de Gerenciamento de Valor Agregado, sendo:
 - i. Extensão da Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado utilizando dados históricos de desempenho de custos;
 - ii. Extensão da Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado utilizando dados históricos de qualidade;

A técnica de GVA_{HDC} foi validada, comparando-se sua Exatidão (Erro Médio da Estimativa No Término (ENT_{HDC})) com a Exatidão da ENT da técnica de GVA tradicional. Foram feitas validações para a técnica quando os projetos estavam próximo de seu início, no meio, próximos do final de sua execução e em todo o projeto.

A técnica foi avaliada, primeiramente, utilizando simulações. O uso de simulações visava avaliar a técnica no maior número de cenários possíveis, para posteriormente avaliá-la utilizando dados reais. Em todas as validações que a técnica GVA_{HDC} 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.

A técnica de GVA_{HDC} também teve sua precisão avaliada e comparada à técnica tradicional. A precisão foi medida através da variação entre os Indicadores de Desempenho

de Custo (IDC_{Acum}) entre as atividades de um projeto. Em todas as validações realizadas na técnica ela apresentou precisão superior à técnica tradicional, especialmente no início da execução dos projetos. A precisão do IDC_{Acum} da técnica GVA_{HDQ} também foi avaliada através de um teste de hipóteses pareadas a 95% de nível de significância, e os resultados confirmaram que a técnica GVA_{HDQ} apresenta menor variação do IDC_{Acum} que a técnica de GVA tradicional.

Por fim, a técnica de GVA Histórico de Desempenho de Qualidade (GVA_{HDQ}) teve sua exatidão avaliada, através do Estimativa No Término (ENT_{EERD}) e através da Estimativa de Defeitos Para Completar (ENPC). A técnica de GVA_{HDQ} também foi avaliada utilizando primeiramente simulações de projetos e posteriormente utilizando dados de projetos reais.

Em ambos os casos a técnica de GVA_{HDQ} apresentou melhor exatidão que a técnica proposta. Entretanto, nos projetos reais, talvez em função da fase de teste utilizada ser a última do projeto (no final da execução do projeto a exatidão da técnica tradicional é grande), a técnica proposta só apresentou exatidão melhor quando realizado o teste de hipótese a 90% de significância.

Alguns dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento desta tese foram registrados em publicações, a saber:

- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., 2012. A proposal for the improvement of the technique of Earned Value Management utilizing the history of performance data. *In: 24th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE)*, 2012, Redwood City, p. 753-759.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., 2012. A proposal for the improvement of the technique of EVM utilizing the history of performance data. *In: The 24th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE2012)*, Redwood City, p. A3-A4.
- SOUZA, A. D., 2013. A Proposal for the Improvement of Project's Cost Predictability using EVM and Historical Data of Cost. *In the Proceedings of 35th International Conference on Software Engineering (ICSE2013)*,

ACM Student Research Competition (SRC), San Francisco, 2013, IEEE Press, p. 1447-1449, ISBN: 978-1-4673-3076-3.

- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., 2013. A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data. *In The 20th European System, Software & Service Process Improvement & Innovation (EUROSPI2013)*, Dundalk, 2013.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., 2013. A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data. *Springer. Systems, Software and Services Process Improvement, Communications in Computer and Information Science*, V. 364, pp 190-201, ISBN (Printed version): 978-3-642-39179-8, ISBN (Online Version): 978-3-642-39179-8, DOI 10.1007/978-3-642-39179-8_17.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., SANTOS, D. C. S., 2014. A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data – An Empirical Study. *In The 21th European System, Software & Service Process Improvement & Innovation (EUROSPI2014)*, Luxembourg, Luxembourg, 2014.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., SANTOS, D. C. S., 2014. A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data – An Empirical Study. *Springer. Systems, Software and Services Process Improvement, Communications in Computer and Information Science*, V. 425, 2014, pp 170-181, ISBN (Printed version): 978-3-662-43895-4, ISBN (Online Version): 978-3-662-43896-1, DOI 10.1007/978-3-662-43896-1_15.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., SANTOS, D. C. S. *et al.*, 2014 . A Proposal for the Improvement of Project's Cost Predictability using Earned Value Management and Historical Data of Cost-An Empirical Study. *In: 26th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE2014)*, Vancouver, Canada, Knowledge Systems Institute Graduate School, 2014. p. 729-734.

Sendo esse último artigo premiado como o *Best Paper* da conferência.

6.3 Perspectivas Futuras

As propostas de integração de dados históricos de desempenho de custo e de qualidade ao Gerenciamento de Valor Agregado, podem ser considerados trabalhos iniciais para outros que ainda serão realizados.

Devem ser realizados trabalhos para refinar as simulações, utilizar mais projetos reais para avaliação das técnicas, desenvolvimento de ferramentas de suporte ao uso e à avaliação de novos projetos.

Algumas perspectivas de trabalhos futuros são destacadas a seguir:

a) Refinamento dos modelos de simulação utilizados para validar as técnicas propostas:

Os modelos de simulação utilizados para validar a técnica propostas são considerados básicos, a evolução desses modelos utilizando dados de projetos reais, que contemplem defeitos e suas conseqüências, com base em trabalhos já existentes podem reforçar a validade da proposta. A realização de simulações tentando avaliar a influência do tamanho dos projetos ou a amplitude da variação do IDC_{Acum} na exatidão da ENT dos projetos poder fonecer evidências de qual contexto as técnicas propostas podem ser utilizadas com menores riscos.

b) Realização de estudos de casos em empresas com diferentes características:

Foi realizado apenas um estudo de caso conduzido para validar as técnicas propostas, em função do tempo necessário para conduzir esse tipo de estudo de caso. A realização de estudos de caso em empresas com diferentes características tais como: (i) empresas que utilizam metodologias ágeis, (ii) empresas de alta maturidade, entre outras, também reforçariam a validade das técnicas propostas.

c) O desenvolvimento de um ferramental de apoio para avaliar o ganho de exatidão e precisão das técnicas propostas:

O maior empecilho na condução dessa tese foi o tempo gasto nos cálculos de avaliação das técnicas. Esse trabalho cita mais de 30 equações que são utilizadas diversas vezes em cada projeto. A automatização dos cálculos de exatidão e precisão agilizariam futuras atividades de avaliação das técnicas propostas em diferentes empresas, facilitando o alcance do trabalho futuro citado acima.

d) A integração de dados relacionados a riscos à $GVA_{Tradicional}$

A integração de dados relacionados a riscos pode trazer mais informações relacionados a ocorrência de possíveis custos relacionados a ocorrência e/ou ao

tratamento desses riscos em fases específicas dos projetos, e a probabilidade de ocorrência deles. Com base em tais informações a precisão e exatidão da técnica pode ser melhorada.

e) A integração de técnicas estatísticas às propostas

As informações históricas disponíveis podem ser utilizadas para prover uma quantidade maior de informações para a tomada de decisões, tais como: a probabilidade de se finalizar o projeto dentro de um orçamento pré-estabelecido, ou dentro de uma faixa de valores qualquer.

f) Desenvolvimento de um ferramental de apoio para a aplicação e utilização da técnica em empresas de software:

A aplicação das técnicas envolve o uso de mais de 30 equações diferentes que precisam ser aplicadas em tempo real, ou seja, que precisam ser calculadas diversas vezes durante a execução de um projeto.

O desenvolvimento de um plug in, integrado a uma ferramenta comercial como o MS Project facilitaria a utilização e a difusão da técnica.

g) A realização de estudos semelhantes aplicados à melhoria da previsibilidade do cronograma dos projetos:

Existem problemas conhecidos com o Indicador de Desempenho de Prazo (IDP_{Acum}) da técnica de GVA. LIPKE (2003) propôs uma extensão da técnica denominada *Earned Schedule* (ES), que foi aplicada com sucesso em projetos de diversas áreas. Essa extensão pode ser modificada visando utilizar os resultados obtidos com os dados históricos de custo e de qualidade. Todos os estudos conduzidos nessa tese podem ser re-feitos utilizando uma proposta para melhoria da previsibilidade de prazos.

h) A realização de estudos visando identificar a diferença entre projetos de manutenção evolutiva e projetos normais:

Projetos de manutenção evolutiva podem trazer defeitos provenientes de versões anteriores do produto. A análise e comparação do erro da ENT entre projetos de manutenção evolutiva e projetos normais também podem trazer evidência sobre qual contexto as técnicas podem ser aplicadas com menor risco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANBARI, F.T., 2003, "Earned Value Project Management Method and Extensions", *Project Management Journal*, v. 4 (Dec 2003), pp. 12 - 23.
- ANSI/EIA-748, 1998, "Earned Value Management Systems Standard 748", American National Standards Institute/Electronic Industries Association .
- ANSI/EIA-748, 2007, "Earned Value Management Systems Standard 748", American National Standards Institute/Electronic Industries Association .
- BARCELLOS, M. P., ROCHA, A. R. C., 2008, "Avaliação de Bases de Medidas considerando sua Aplicabilidade ao Controle Estatístico de Processos de Software", In: *Anais do VII Simposio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS'08)*, Florianopolis – SC.
- BASIL, V. R., ROMBACH, H. D., CALDIERA, G., 1994, Goal Question Metric Paradigm, *Encyclopedia of Software Engineering*, 2 Volume Set, John Wiley & Sons, Inc.
- CHRISTENSEN, D., SCOTT R. HEISE, 1993, "Cost Performance Index Stability", *National Contract Management Journal*, v. 25, pp. 7-15.
- CONTE, T., MASSOLAR, J., MENDES, E., TRAVASSOS, G. H., 2007, "Web Usability Inspection Technique Based on Design Perspectives". In: *Proceedings of the 21th Brazilian Symposium on Software Engineering (SBES 2007)*, v. 1, pp. 394-410, João Pessoa, Brasil, Outubro.
- CONTE, T.U., 2009, *Técnica de Inspeção de Usabilidade Baseada em Perspectivas de Projeto Web*, PESCC - Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE UFRJ, Rio de Janeiro.
- DEMING, W.E., 1994, *The New Economics for Industry, Government, Education*, 2a Ed., Cambridge, Massachusetts, Institute of Technology, Center for Advanced Engineering.
- DIESTE, O., PADUA, A.G., 2007, "Developing Search Strategies for Detecting Relevant Experiments for Systematic Reviews", In: *Proceedings of the First International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM2007)*, v. 1, pp. 215-224, Madrid, Espanha.
- DINSMORE, C.E.C., 2003, *Como se Tornar um Profissional em Gerenciamento de Projetos: Livro-Base de "Preparação para Certificação PMP - Project Management Professional*, Rio de Janeiro, Qualitymark.
- DoD, 2010, " *Defence Acquisition Guidebook (DAG)*", Department of Defense
- FLEMING, QUENTIN W. e JOEL M. KOPPELMAN, 2000, *Earned value Project Management*, Newtown Square, Project Management Institute (PMI).
- FLORAC, W.A., A. D. CARLETON, 1999, *Measuring the Software Process: Statistical Process Control for Software Process Improvement*, 2a Ed., Pittsburgh, Software Engineering Institute (SEI).

- FLORAC, W.A.R.E.P., ANITA D. CARLETON, 1997, Practical Software Measurement: Measuring for Process Management and Improvement, Pittsburgh, Software Engineering Institute (SEI).
- FREITAS C., 2014, Certificação CAPM: para membros de equipes e novos gerentes de projetos, 2ª Ed., Rio de Janeiro, RJ, Brasport editora.
- HEDERSON, K., 2003, "Earned Schedule: A breakthrough extension to Earned Value theory? A retrospective analysis of real project data", The Measurable News, Summer 2003, pp. 1-16.
- HENDERSON, K., 2004, "Further Developments in Earned Schedule", The Measurable News, Spring 2004, pp. 1-8.
- HENDERSON, K., OFER ZWIKAEI, 2008, "Does Project Performance Stability Exist A Re-examination of CPI and Evaluation of SPI(t) Stability, " Cross Talk, v. 21 (April, 2008), pp. 04-07.
- IEEE Std. 1044-2009, 2010, Classification for Software Anomalies, IEEE, 2010.
- IEEE-1220, 2005, "Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Dec. 2005.
- ISO/IEC, 2008, ISO/IEC 12207:2008 - Systems and Software Engineering - Software Life Cycle Process International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.
- IMAN, A., OW SIEW HOCK, 2009a, "Implementation and Evaluation of Earned Value Index to Achieve an Accurate Project Time and Cost Estimation and Improve "Earned Value Management System", International Conference on Information Management and Engineering, pp. 312-316, Kuala Lumpur, Malasia, Abril 2009.
- IMAN, A., OW SIEW HOCK, 2009b, "Using Enhancement Method to Improve Earned Value Index to Achieve an Accurate Project Time and Cost Estimation", International Conference on Future Computer and Communication, 421-425, Kuala Lumpur, Malasia, Abril 2009.
- IRANMANESH, H., N. MOJIR, S. KIMIAGARI 2007, "A new formula to "Estimate At Completion" of a Project's time to improve Earned value management system", Industrial Engineering and Engineering Management, 2007 IEEE International Conference on, pp. 1014 - 1017, Singapore, Dezembro de 2007.
- KALINOWSKI, M., TRAVASSOS, G. H., 2005, "Software Technologies: The Use of Experimentation to Introduce ISPIS – a Software Inspection Framework – Into the Industry". In: In: Proceedings of 2a Experimental Software Engineering Latin American Workshop (ESELAW 2005), pp. 13-18, Uberlândia, Brasil.
- KITCHENHAM, B., 2004, Procedures for Performing Systematic Reviews, Keele University and NICTA.
- KITCHENHAM, B., O. PEARL BRERETON, DAVID BUDGEN, MARK TURNER, JOHN BAILEY, STEPHEN LINKMAN, 2009, "Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review", Information and Software Technology (2009), pp. 7-15.
- KOPPELMAN, Q.W.F.A.J.M., 2008, "The Two Most Useful Earned Value Metrics: The CPI and the TCPI", Cross Talk The Journal of Defense Software Engineering, v. 21 nro. 12 (Dezembro 2008), pp. 16-18.

- KWAK, Y.H., FRANK T. ANBARI, 2009, "Analyzing project management research: Perspectives from top management journals", *International Journal of Project Management*, V.27, nro. 5, Julho 2009, pp. 435-446.
- LIPKE, W., 2000, "Statistical Process Control Meets Earned Value", *Cross Talk The Journal of Defense Software Engineering*, v. vol 13 nro 6, pp. 16-28 .
- LIPKE, W., 2003, "Schedule is different", *The Measurable News*, v. March & Summer 2003 (March 2003), pp. 1-7.
- LIPKE, W., 2004a, "Connecting Earned Value to the Schedule", *The Measurable News*, v. Winter 2004 (Winter 2004), pp. 1-8.
- LIPKE, W., 2004b, "Independent Estimates at Completion – Another Method", *Cross Talk The Journal of Defense Software Engineering*, v. 17 nro 10 (october 2004), pp. 26-30.
- LIPKE, W., 2006a, "Statistical Methods Applied to EVM: The Next Frontier", *Cross Talk Department of Defense*, v. 19, pp. 20-23.
- LIPKE, W., K.H., 2006b, "Earned Schedule: An Emerging Enhancement to Earned Value Management", *Cross Talk*, v. 19 No 11 (November 2006), pp. 26-30.
- LIPKE, W., 2008, "Project Duration Forecasting: Comparing Earned Value Management Methods to Earned Schedule", *Cross Talk The Journal of Defense Software Engineering*, v. 21 nro 12, pp. 19-22.
- LIPKE, W., ANBARI, HENDERSON, 2009, "Prediction of project outcome, the application of statistical methods to Earned Value Management and Earned Schedule performance indexes", *International Journal of Project Management*, v. 27, nro 4, pp. 400-407.
- MAFRA, S., BARCELOS, R., TRAVASSOS, G. H., 2006, "Aplicando uma Metodologia Baseada em Evidência na Definição de Novas Tecnologias de Software". In: *Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Software Engineering (SBES)*, v. 1, pp. 239-254, Florianópolis, Outubro, 2006.
- PFLEEGER, N.E.F.A.S.L., 1997, *Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach* Boston, PWS Publishing Company.
- PMI, 2011, *Practice Standard Earned Value Management* Pennsylvania, Project Management Institute.
- PMI, 2013, *Project Management Body of Knowledge - PMBOK* Newton Square, Project Management Institute.
- PUTNAM, L.H., WARE MYERS, 2003, *Five Core Metrics: The Intelligence Behind Successful Software Management* New York, Dorset House Publishing.
- RUBINSTEIN, D., 2009, "Standish Group Report: There's Less Development Chaos Today", accessed in 29/10/2009.
- SEI, 1993, "CMM, Version 1.1", Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute (SEI). 1993.
- SEI, 2002, "CMMI for Development, Version 1.2", Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute (SEI). 1993.
- SEI, 2010, "CMMI for Development, Version 1.3", Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute (SEI). 2010.
- SHULL, F., CARVER, J., TRAVASSOS, G. H., 2001, "An empirical methodology for introducing software processes.", *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, v. 26, n. n. 05, pp. 288-296.

- SILVA, L.F., 2004, Uma abordagem com apoio ferramental para aplicação de técnicas de leitura baseada em perspectiva, COPPE / PESC - Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SMITH, 1999, " The Estimation of Effort Based on Use Cases", Rational Unified Process, New York.
- SOFTEX, 2012, MPS.BR: Melhoria de Processo do Software Brasileiro - Guia Geral : 2012, Disponível em: <http://www.softex.br/mpsbr>.
- SOLOMON, P.J., 2002, Using CMMI to Improve Earned Value Management, Software Engineering Institute - SEI, Carnegie Mellon University.
- SOLOMON, P.J., 2005, "Performance-Based Earned Value", Cross Talk The Journal of Defense Software Engineering, v.18 nro 8 (Agosto 2005), pp. 20-24.
- SOLOMON, P.J., Young R., 2006, "Practical Performance-Based Earned Value", 1a Ed., San Diego, John Wiley & Sons, Inc. and the IEEE Computer Society Press.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., 2012a, A proposal for the improvement of the technique of Earned Value Management utilizing the history of performance data. In: Proceedings of the 24th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE), 2012, Redwood City, San Francisco Bay, Junho de 2012. p. 753-759.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C. , 2012b, A proposal for the improvement of the technique of EVM utilizing the history of performance data. In: Proceedings of the 24th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE), 2012, Redwood City, Redwood City, Junho de 2012. p. A3-A4.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., 2013a, A Proposal for the Improvement of Project's Cost Predictability using EVM and Historical Data of Cost. In the Proceedings of 35th International Conference on Software Engineering (ICSE), 2013, ACM Student Research Competition (SRC), San Francisco, 2013, IEEE Press, p. 1447-1449.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., 2013a, A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data. In The 20th European System, Software & Service Process Improvement & Innovation (EUROSPI2013), Dundalk, Junho 2013.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., 2013b, A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data. Springer. Systems, Software and Services Process Improvement, Communications in Computer and Information Science, v. 364, pp 190-201, ISBN (Printed version): 10.1007/978-3-642-39179-8_17, ISBN (Online Version): 978-3-642-39179-8.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., Cristina D., 2014a, A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data - An Empirical Study. In The 21th European System, Software & Service Process Improvement & Innovation (EUROSPI2014), Luxembourg, Junho 2014.
- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., 2014a, A Proposal for the Improvement Predictability of Cost Using Earned Value Management and Quality Data - An Empirical Study. Springer. Systems, Software and Services Process Improvement, Communications in Computer and Information Science, v. 364, pp 190-201.

- SOUZA, A. D. ; ROCHA, A. R. C., Cristina D., 2014b, A proposal for the improvement of the technique of Earned Value Management utilizing the history of performance data - An Empirical Study. In: Proceedings of the 26th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE2014), Vancouver, Julho de 2014. p. 729-734.
- STALEY J. M., OBERNDORF P., SLEDGE C. A., 2002, "Using EVMS with COTS-Based Systems", TECHNICAL REPORT, CMU/SEI-2002-TR-022, ESC-TR-2002-022, Pittsburgh, Carnegie Mellon Software Engineering Institute.
- VANDEVOORDE, S., VANHOUCHE M., 2006, "A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics", Project Management Journal, v. 24, pp. 289 - 302.
- VARGAS, R. V., 2013, "Análise de Valor Agregado: Revolucionando o gerenciamento de prazos e custos", Ed. 6ª, Rio de Janeiro, Brasport.
- ZWIKAEL, O., GLOBERSON, S. e Raz, T., 2000, "Evaluation of Models for Forecasting the Final Cost of a Project." ", Project Management Journal v. 31.1 pp. 53-57.
- WYNNE, Michael, 2004, "Policy for Systems Engineering in DoD". Memorandum, 20 Feb. 2004. Acting Undersecretary of Defense, Acquisition, Technology and Logistics.
- WÖHLIN, C., RUNESON, P., HÖST, M., OHLSSON, M. C., REGNELL, B., WESSL, A., 2000. Experimentation in software engineering: an introduction. Kluwer Academic Publishers.

ANEXO I – ESTUDO BASEADO EM REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE GERENCIAMENTO DE VALOR AGREGADO

Este capítulo descreve os resultados de um estudo secundário (revisão sistemática) realizado com o propósito de caracterizar os principais problemas relacionados à utilização da técnica de análise de valor agregado e de propostas de soluções para os problemas identificados. Os principais resultados deste estudo secundário são apresentados, uma vez que estes formarão a base para a proposta da nova técnica, objeto dessa tese.

I.1 Introdução

Para desenvolver ou evoluir novas técnicas de análise de valor agregado que apoiem efetivamente o monitoramento e controle de projetos, é necessário caracterizar os principais problemas apresentados pelas atuais técnicas de monitoramento e controle e as novas soluções. 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 realizada uma revisão sistemática com o objetivo de caracterizar os problemas e soluções propostas para os problemas apresentados. Foram identificados estudos que questionem a técnica de análise de valor agregado tradicional, ou a confronto com outras propostas, e que identifique evoluções visando o aumento da previsibilidade e da confiabilidade dos indicadores de desempenho gerados.

Portanto, foram identificados estudos que propõem evoluções da técnica e que tenham sido aplicados, através de estudos de caso ou de simulações, e que comprovem a sua eficácia. A partir dessa identificação, foi possível realizar uma análise dos problemas identificados na técnica e a proposta de uma nova técnica que integre novas variáveis e dados históricos de processos.

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.

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 *et al.* (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, 2009), cujo processo de pesquisa segue um conjunto de passos metodologicamente bem definidos de acordo com um protocolo prévio (KITCHENHAM, 2009) e cuja adoção procura reduzir o viés inerente a uma revisão informal (SILVA, 2004).

Parte do trabalho envolvido em uma revisão sistemática é a calibragem das palavras-chave para a busca. DIESTE e 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 e PADUA (2007) também fazem algumas considerações¹ 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 (sensitividade e precisão); o uso apenas da palavra-chave principal 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 (2009).

I.2 Protocolo do Estudo Baseado em Revisão Sistemática

O protocolo utilizado para o estudo foi derivado dos trabalhos produzidos por (MAFRA *et al.*, 2006) e (SILVA, 2004).

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.

I.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,

2006a). Entretanto, poucos foram os estudos conduzidos com o intuito de analisar e avaliar a estabilidade dos indicadores de desempenho de custo e prazo e melhorar as equações utilizadas para fazer a previsão final dos custos e prazos, com base nos indicadores de desempenho (LIPKE, 2008).

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 novas variáveis e controle estatístico de processo.

I.2.2 Objetivos e questões de pesquisa

Objetivo

Analisar 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.

Do ponto de vista dos pesquisadores.

No contexto acadêmico e industrial com foco na gerência de projetos no domínio da engenharia de software.

I.2.3 Questões de pesquisa

Questão principal

Os indicadores de desempenho de custo (*Cost Performance Index - CPI*) e cronograma (*Schedule Performance Index - SPI*) da técnica de análise de valor agregado são estáveis?

Questões secundárias

Uma vez identificada a estabilidade dos indicadores de desempenho de custo e cronograma, propõe-se a caracterização do problema e das atuais soluções, através das seguintes questões:

- Dentro de quais intervalos os indicadores de desempenho de custo (CPI) e cronograma (SPI) são estáveis? Para projetos de quais contextos?
- Existem propostas para a melhoria da previsibilidade dos indicadores de desempenho de custo (CPI) e cronograma (SPI)?
 - Alguma proposta utiliza Controle Estatístico de Processo (*Statistical Process Control – SPC*) para melhorar a previsibilidade dos indicadores de custo e cronograma?
 - Alguma proposta acrescenta novas variáveis, visando aumentar a previsibilidade de custo e cronograma? Se sim, quais novas variáveis são propostas?

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 e/ou comparações de novas técnicas ou de variações das técnicas 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 estatísticos de subprocessos pertencentes aos altos níveis de maturidade do CMMI (4 e 5) e MPS.BR (A e B), e se possível integrar outras variáveis como qualidade (impacto financeiro e de prazo do número de não conformidades por subprocesso e *bugs*) e riscos (impacto financeiro e de prazo da probabilidade e impacto dos riscos dos projetos), com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos indicadores de desempenho de custo e prazo, gerados pela técnica de análise de valor agregado.

I.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 engines de busca e, quando os dados não estiverem disponíveis eletronicamente, através de consultas manuais.

I.3.1. Critérios adotados para seleção das fontes

Para as bibliotecas digitais é desejado:

- Possuir engine 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 engines 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.

I.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 1999 até 20 de setembro de 2010. A data inicial foi escolhida em decorrência do artigo de controle mais antigo ser datado de 1999. 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.

I.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.

I.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:

((EVM AND earned value) OR earned value OR earned value technique OR earned value method OR earned value tool OR earned value metric OR earned value calculation OR earned value methodology OR earned schedule index OR earned cost index OR earned value management OR earned value project management OR earned value technics OR earned value methods OR earned value tools OR earned value metrics OR earned value calculations OR earned value methodologies OR earned extensions OR earned schedule indexes OR earned cost indexes OR (SPI AND schedule performance index) OR schedule performance index OR (CPI AND cost performance index) OR cost performance index AND project management AND software engineering))

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

((EVA AND análise de valor agregado) OR análise de valor agregado OR técnica de análise de valor agregado OR método de análise de valor agregado OR ferramenta de análise de valor agregado OR medida de análise de valor agregado OR calculo de análise de valor agregado OR metodologia de análise de valor agregado OR índice agregado de cronograma OR índice agregado de custo OR gerenciamento de análise de valor agregado OR gerenciamento de projetos com análise de valor agregado OR técnicas de análise de valor agregado OR métodos de análise de valor agregado OR ferramentas de análise de valor agregado OR medidas de análise de valor agregado OR calculos de análise de valor agregado OR metodologias de análise de valor agregado OR extensões da análise de valor agregado OR índice agregado de cronograma OR índice agregado de custo OR (IDC AND índice de desempenho do cronograma) OR índice de desempenho do cronograma OR (IDC AND índice de desempenho do custo) OR índice de desempenho do custo AND gerência de projetos AND engenharia de software).

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.

I.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:

- i. 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;
- ii. 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, 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.

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.
- **CI1-02** – Podem ser selecionadas publicações que descrevam novas técnicas de controle de custo e prazo.
- **CI1-03** – Podem ser selecionadas publicações que discutam a estabilidade dos indicadores de desempenho de prazo e custo.
- **CI1-04** – Podem ser selecionadas publicações que descrevam evoluções (extensões) da técnica de análise de valor agregado (sem mencionar melhoria da previsibilidade dos indicadores EAC e TAC).
- **CI1-05** – Podem ser selecionadas publicações que descrevam propostas de variação (extensões) da técnica de análise de valor agregado, visando melhorar a previsibilidade do EAC e TAC.

- **CI1-06** – Podem ser selecionadas publicações que apontem os problemas mais comuns da análise de valor agregado.
- **CI1-07** – Podem ser selecionadas publicações que apresentem métodos estatísticos ou de controle estatístico de processo, aplicados á análise de valor agregado.
- **CI1-08** – Podem ser selecionadas publicações que comparem a análise de valor agregado tradicional com novas técnicas.
- **CI1-09** – Podem ser selecionadas publicações que adicionem novas variáveis a análise de valor agregado, visando melhorar a previsibilidade do EAC e TAC.

iii) 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, 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, 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, mas não apresentem uma nova técnica.

- **CS2 +EVM -NovTec -Uso** - Não devem ser selecionadas publicações que descrevem o uso da análise de valor agregado, 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, 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, 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 e prazos e dê indícios que as novas técnicas são reais e que foram utilizadas na prática ou através de simulações.

Crítérios 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.

I.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;
- 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.
 - **Estabilidade dos indicadores de desempenho de prazo (SPI) e custo (CPI) (se aplicável)** – Descrição dos resultados do artigo quanto a estabilidade dos indicadores de desempenho de prazo (SPI) e custo (CPI).

- *Conclusão* – conclusão sobre a estabilidade dos indicadores (é estável (dentro de qual intervalo), instável, ou se não se pode observar).
- *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.
- **Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (Se aplicável):**
 - **Propostas de evolução da análise de valor agregado** - Descrição das propostas de evolução ou melhoria da técnica de análise de valor agregado, objetivo da melhoria, resultados alcançados e se foi aplicada em projetos reais ou se foram feitas simulações.
 - *Descrição da melhoria proposta* – descreve quais indicadores e/ou medidas foram alterados da técnica original de análise de valor agregado.
 - *Mudança na maneira como são utilizadas as medidas e indicadores atuais* – descreve as mudanças que foram feitas nas medidas atuais, nesse caso não são acrescentadas novas variáveis à análise de valor agregado.
 - *Novas variáveis acrescentadas* – descreve quais novas variáveis foram acrescentadas e como elas são utilizadas.
 - *Objetivo*: descreve o objetivo da melhoria. A melhoria da técnica visa ao aumento da previsibilidade de custo, ou prazo? Visa a facilitar o entendimento das medidas de prazo? Quais outras?

- *Resultados obtidos:* existem evidências de melhores resultados na aplicação da nova técnica, em relação à técnica original? Os resultados foram obtidos com base em simulações ou projetos reais?
- 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.

I.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.

I.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.

I.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 relacionados ao uso da técnica de análise de valor agregado e as soluções indicadas para resolver os problemas.

Foram testadas opções de palavras chaves relacionadas à análise de valor agregado “*earned value*” e seus sinônimos (como, por exemplo, *earned value management*, *earned value tool*, *earned value calculation*, *earned value metric*, entre outras). As palavras chaves e sinônimos foram testadas no singular e plural. Foram testadas, também, algumas opções de palavras chaves relacionadas aos indicadores de desempenho de custo e prazo. Para essas foram definidas siglas e o significado das siglas, tais como: “EVM e *earned value management*”, “CPI e *cost performance index*”, “SPI e *schedule performance index*”, “EAC e *estimated at completion*”, “TAC e *time at completion*” entre outros.

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 40 publicações, das quais somente 6 eram falsos positivos (publicações não relacionadas ao tema de pesquisa). Entretanto, os resultados preliminares na biblioteca da Compendex (<http://www.engineeringvillage.com/>) e IEEE (<http://www.ieee.org/portal/site>), trouxeram uma lista extensa de artigos (foram retornados 8.705 artigos pela Compendex e 1.749 pela IEEE), sendo que os primeiros artigos, de ambos os engenhos de buscas, eram relacionados ao tema de pesquisa, e os demais, em sua grande maioria eram falsos positivos.

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.

I.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:

1. Definição da máquina de busca para testes do protocolo;
2. Identificação de publicações que deveriam compor o grupo de controle;
3. Identificação de expressão de busca inicial;
4. Testes da expressão de busca;
5. 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.

I.9.1 Primeira Rodada

Num primeiro momento, a base de publicações foi povoada com cerca de 40 artigos que apareceram nas buscas realizadas nos testes dos estudos preliminares (descritos na seção anterior). Pelo fato dos engenhos de busca da Compendex e IEEE terem retornado uma extensa lista de artigos, optou-se por não utilizá-los nesse momento. Dos 40 artigos retornados 9 foram classificados como dentro do grupo de controle e são exibidos na tabela 1.

Neste momento os testes começaram com a expressão de busca: (EVM OR earned value OR earned value technique OR earned value method OR earned value tool OR earned value metric OR earned value calculation OR earned value methodology OR earned schedule index OR earned cost index OR earned value management OR earned value technics OR earned value methods OR earned value tools OR earned value metrics OR earned value calculations OR earned value methodologies OR earned extensions OR earned schedule indexes OR earned cost indexes OR SPI OR schedule performance index OR CPI OR cost performance index).

A cada consulta foi verificado o número de publicações que faziam parte do grupo de controle. Para esta primeira consulta foram encontradas 8 publicações do Grupo controle, e para acrescentar a nona publicação, foi necessário o acréscimo do termo “*earned value project management*”. Ao final dessa rodada, a expressão de busca escolhida foi: (EVM OR earned value OR earned value technique OR earned value method OR earned value tool OR earned value metric OR earned value calculation OR earned value methodology OR earned schedule index OR earned cost index OR earned value management OR earned value project management OR earned value technics OR earned value methods OR earned value tools OR earned value metrics OR earned value calculations OR earned value methodologies OR earned extensions OR earned schedule

indexes OR earned cost indexes OR SPI OR schedule performance index OR CPI OR cost performance index).

Tabela 1 – Publicações do grupo de controle

ID	Ano	Título da publicação	Autor	Evento
01	2009	<i>Prediction of project outcome. The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes</i>	LIPKE, W., Zwikael, O., Henderson, K., Anbari, F.	<i>International Journal of Project Management</i> 27 (4), pp. 400-407
02	22008	<i>Earned value Analysis - Why it doesn't work</i>	Lukas, J.A.	<i>AACE International Transactions</i>
03	22008	<i>Does project performance stability exist? A re-examination of CPI and evaluation of SPI(t) stability</i>	Henderson, K., Zwikael, O.	<i>CrossTalk</i> 21 (4), pp. 7-13
04	22007	<i>A new formula to "estimate at completion" of a project's time to improve "earned value management system"</i>	Iranmanesh, H., Mojir, N., Kimiagari, S.	<i>IEEM 2007: 2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Management</i> , art. no. 4419345, pp. 1014-1017
05	22006	<i>Statistical methods applied to EVM: The next frontier</i>	LIPKE, W.	<i>CrossTalk</i> 19 (6), pp. 20-23
06	22006	<i>A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics</i>	Vandevoorde, S., Vanhoucke, M.	<i>International Journal of Project Management</i> 24 (4), pp. 289-302

ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
07	22006 <i>Completing projects according to plans: An earned-value improvement index</i>	Cioffi, D.F.	<i>Journal of the Operational Research Society</i> 57 (3), pp. 290-295
08	22004 <i>Independent estimates at completion - Another method</i>	LIPKE, W.	<i>CrossTalk</i> (10), pp. 26-30
19	22004 <i>Earned value project management method and extensions</i>	Anbari, F.T.	<i>IEEE Engineering Management Review</i> 32 (3), pp. 97-110

Esta última busca retornou 34 publicações no engenho de busca SCOPUS, sendo que destas, 9 estavam no grupo de controle.

I.9.2 Segunda Rodada

Apesar da string de busca ter mostrado resultados ótimos no engenho de busca da SCOPUS, os resultados eram extensos para os Engenhos da Compendex e IEEE, retornando, respectivamente 6.588 e 1.749 publicações. Assim o principal objetivo da segunda rodada foi refinar a busca para os engenhos de busca da Compendex e IEEE.

A causa atribuída ao retorno excessivo de artigos não relevantes, foi o conjunto de palavras chaves separadas pelo conector lógico OR, e a ausência de conectores restritivos AND com um critério que limitasse a uma engenharia específica. Assim foi acrescentado um AND e especificadas possíveis áreas. A string de busca final ficou: (EVM OR earned value OR earned value technique OR earned value method OR earned value tool OR earned value metric OR earned value calculation OR earned value methodology OR earned schedule index OR earned cost index OR earned value management OR earned value project management OR earned value technics OR earned value methods OR earned value tools OR earned value metrics OR earned value calculations OR earned value methodologies OR earned extensions OR earned schedule indexes OR earned cost indexes OR SPI OR schedule performance index OR CPI OR cost performance index AND **project management** AND **software engineering**).

Esse procedimento reduziu os artigos retornados pela SCOPUS (passaram de 34 para 26 artigos retornados), sendo que destes, 8 eram do grupo de controle. O procedimento também reduziu o número de artigos retornados pelo engenho de busca da Compendex, a qual retornou apenas 80 artigos, ante os 6.588 retornados pela string anterior. Ainda que os artigos retornados fossem da área, muitos indicavam pouca relevância em relação ao tema pesquisado, tratando apenas de assuntos superficiais, tais como a aplicação da análise de valor agregado em projetos de determinado contexto.

A nova string surtiu pouco efeito na redução do número de artigos do engenho de busca da IEEE, ela retornou um total de 1.743 publicações, ante as 1.748 publicações retornadas anteriormente.

I.9.3. Terceira Rodada

Na segunda rodada de testes, reviu-se as publicações presentes no grupo de controle e foram adicionados mais 7 publicações, conforme ilustra a tabela 2, totalizando 16 publicações no grupo de controle, de um universo de (106 publicações (desconsiderando-se, neste momento as publicações do engenho da IEEE)).

O objetivo dessa rodada foi calibrar a string de busca para diminuir o número de publicações do engenho de busca da IEEE, sem que prejudicasse o retorno dos demais engenhos de busca. Uma das causas atribuíveis para que o engenho de busca da IEEE retornasse uma quantidade excessiva de publicações foi a utilização das siglas (SPI, CPI e EVM), sem nenhuma cláusula restritiva, desse modo, optou-se por manter a sigla dentro de uma cláusula com um conector lógico AND e a descrição da sigla (exemplo: (EVM AND earned value)). Assim, ao final desta última rodada de testes, a expressão de busca foi definida como: ((EVM AND earned value) OR earned value OR earned value technique OR earned value method OR earned value tool OR earned value metric OR earned value calculation OR earned value methodology OR earned schedule index OR earned cost index OR earned value management OR earned value project management OR earned value technics OR earned value methods OR earned value tools OR earned value metrics OR earned value calculations OR earned value methodologies OR earned extensions OR earned schedule indexes OR earned cost indexes OR (SPI AND schedule performance

index) OR schedule performance index OR (CPI AND cost performance index) OR cost performance index) AND project management AND software engineering).

A string final não só diminuiu consideravelmente a quantidade e relevância das publicações retornadas pelo engenho de busca da IEEE que passou de 1.743 para apenas 50 (sendo que destas, 7 pertenciam ao grupo de controle), como também diminuiu e melhorou a relevância das publicações do engenho de busca da Compendex, que passou de 80 para 32. O engenho de busca da Scopus não alterou o resultado da pesquisa com essa nova string, retornando as mesmas 26 publicações, das quais 9 pertenciam ao grupo de controle.

I.9.4. 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/>) retornava a maior parte dos artigos em relação às máquinas de busca da Scopus (<http://www.scopus.com/>) e da Compendex (<http://www.engineeringvillage.com/>). Entretanto, para garantir uma maior cobertura dos resultados, decidiu-se utilizar as três máquinas de busca em conjunto, pois havia artigos indexados apenas por uma delas.

A base de dados da IEEE foi incluída porque nem todas as publicações são indexadas corretamente e muitos artigos interessantes para o foco do estudo ficaram de fora do escopo ao utilizar apenas as bases da Scopus e da Compendex. Foi considerado que a cobertura destas três máquinas de busca seria suficiente, pois elas indexam quase tudo o que é relevante na literatura no contexto deste estudo.

A máquina de 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 revista CrossTalk do DoD (*Departamento of Defense* americano), as quais deveriam ser indexadas pelo engenho de busca da Scopus e Compendex. A escolha dessa

revista para revisão manual se deu em decorrência de dois artigos do grupo controle serem de edições anteriores da revista que não estavam sendo indexadas pela Scopus e pelo fato de, nos últimos 3 anos, existirem 6 publicações relevantes sobre o tema de pesquisa.

Tabela 2 – Demais publicações do grupo de controle

ID	Ano	Título da publicação	Autor	Evento
10	2009	<i>Modern Project Management: A New Forecasting Model to Ensure Project Success</i>	Attarzadeh, I.; Hock, O.S.;	<i>Future Computer and Communication, ICFCC 2009 Page(s): 426 – 430</i>
11	2009	<i>Using Enhancement Method to Improve Earned Value Index to Achieve an Accurate Project Time and Cost Estimation</i>	Attarzadeh, I.; Hock, O.S.;	<i>Future Computer and Communication, ICFCC 2009 Page(s):421 – 425</i>
12	2009	<i>Implementation and Evaluation of Earned Value Index to Achieve an Accurate Project Time and Cost Estimation and Improve "Earned Value Management System"</i>	Attarzadeh, I.; Hock, O.S.;	<i>Information Management and Engineering, ICIME '09. Page(s):312 – 316</i>
13	2009	<i>A New Forecasting Model to Improve Earned Value Index to Achieve an Accurate Project Time and Cost Estimation</i>	Attarzadeh, I.; Hock, O.S.;	<i>Information Management and Engineering, ICIME '09. 2009 Page(s):317 – 321</i>
14	2007	<i>Using Cost-Risk to Connect Cost Estimating and EVM</i>	Graham, D.R.;	<i>Aerospace Conference, 2007 IEEE, Page(s):1 – 9</i>
15	2007	<i>A new formula to "Estimate At Completion" of a Project's time to improve "Earned Value Management System"</i>	Iranmanesh, H.; Mojir, N.; Kimiagari, S.;	<i>Industrial Engineering and Engineering Management, 2007 IEEE Page(s):1014 - 1017</i>
16	2006	<i>Practical experiences of cost/schedule measure through Earned Value Management and Statistical Process Control</i>	Wang, Q., Jiang, N., Gou, L., Che, M., Zhang, R.	<i>Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and</i>

Expressão de Busca na Biblioteca Digital da Scopus

((evm AND earned value) OR earned value OR earned value technique OR earned value method OR earned value tool OR earned value metric OR earned value calculation OR earned value methodology OR earned schedule index OR earned cost index OR earned value management OR earned value project management OR earned value technics OR earned value methods OR earned value tools OR earned value metrics OR earned value calculations OR earned value methodologies OR earned extensions OR earned schedule indexes OR earned cost indexes OR (spi AND schedule performance index) OR schedule performance index OR (cpi AND cost performance index) OR cost performance index AND project management OR software engineering) AND PUBYEAR AFT 1998.

Expressão de Busca na Biblioteca Digital da Compendex

((((EVM AND earned value) OR earned value OR earned value technique OR earned value method OR earned value tool OR earned value metric OR earned value calculation OR earned value methodology OR earned schedule index OR earned cost index OR earned value management OR earned value project management OR earned value technics OR earned value methods OR earned value tools OR earned value metrics OR earned value calculations OR earned value methodologies OR earned extensions OR earned schedule indexes OR earned cost indexes OR (SPI AND schedule performance index) OR schedule performance index OR (CPI AND cost performance index) OR cost performance index AND project management AND software engineering)) WN KY).

Expressão de Busca na Biblioteca Digital da IEEE

((((evm and earned value)or earned value or earned value technique or earned value method or earned value tool or earned value metric or earned value calculation or earned value methodology or earned schedule index or earned cost index or earned value management or earned value project management or earned value technics or earned value methods or earned value tools or earned value metrics or earned value calculations or earned value methodologies or earned extensions or earned schedule indexes or earned cost

indexes or (spi and schedule performance index) or schedule performance index or (cpi and cost performance index) or cost performance index and project management and software engineering))<in>metadata).

Instrumento para Consulta Manual

Para a consulta manual foram elaborados dois documentos auxiliares. O primeiro, que pode ser visto na Figura 1, 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 2) 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 1) 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.

Critério	Inglês
01	((EVM AND earned value) OR earned value OR earned value technique OR earned value method OR earned value tool OR earned value metric OR earned value calculation OR earned value methodology OR earned schedule index OR earned cost index OR earned value management OR earned value project management OR earned value technics OR earned value methods OR earned value tools OR earned value metrics OR earned value calculations OR earned value methodologies OR earned extensions OR earned schedule indexes OR earned cost indexes OR (SPI AND schedule performance index) OR schedule performance index OR (CPI AND cost performance index) OR cost performance index
02	project management
03	software engineering

Figura 1 – 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 2 – Quadro para controle de Pesquisa Manual
Identificação do Período de Busca. Fonte (Souza, 2009)**

I.10.1 Execução do Protocolo

A execução da expressão de busca final retornou 108 artigos, conforme pode ser visto na Figura 3. Destas, a maioria se concentrava nas bases da IEEE (50) e Compendex (32). Entretanto, a maioria das publicações do grupo controle encontrava-se nas bases Scopus (12) e IEEE (7). Das 883 publicações pesquisadas manualmente, em edições da revista CrossTalk, apenas 16 passaram pela expressão de busca, dessas 5 já estavam sendo indexadas pela Scopus e Compendex. A figura 4 mostra a concentração das publicações entre os engenhos de busca.

Destas publicações, todos os abstracts foram lidos e classificados segundo os critérios do primeiro filtro (ver seção 2.6). A Figura 5 mostra a distribuição das 31 publicações que passaram pelo primeiro filtro em relação à disponibilidade das máquinas de busca. Finalmente a figura 6 mostra a concentração das publicações que passaram pelo primeiro filtro. Pode-se notar, novamente, uma concentração das publicações na IEEE (15) e na Scopus (13)

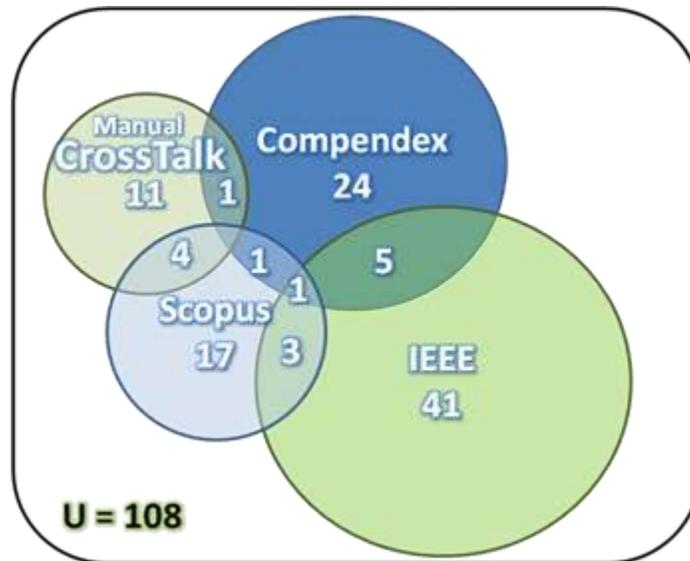


Figura 3 – Publicações retornadas pela string de busca



Figura 4 – Distribuição das publicações retornadas pela string de busca

Os abstracts das 31 publicações que passaram pelo primeiro filtro, foram lidos novamente a fim de classificá-las quanto ao segundo filtro. O segundo filtro não foi aplicado as publicações que foram acrescentadas através dos critérios de inclusão CI1-03, CI1-06, CI1-07 e CI1-08, por se tratar de publicações que tratavam, respectivamente, i) da estabilidade dos indicadores de desempenho de custo e prazo, ii) dos principais problemas da técnica de análise de valor agregado, iii) da utilização do EVM junto com controle estatístico de processo e iv) de comparações entre a técnica de análise de valor agregado e

suas variações. Assim os artigos que receberam essa classificação foram definitivamente aprovados, sem que passassem pelo segundo filtro.

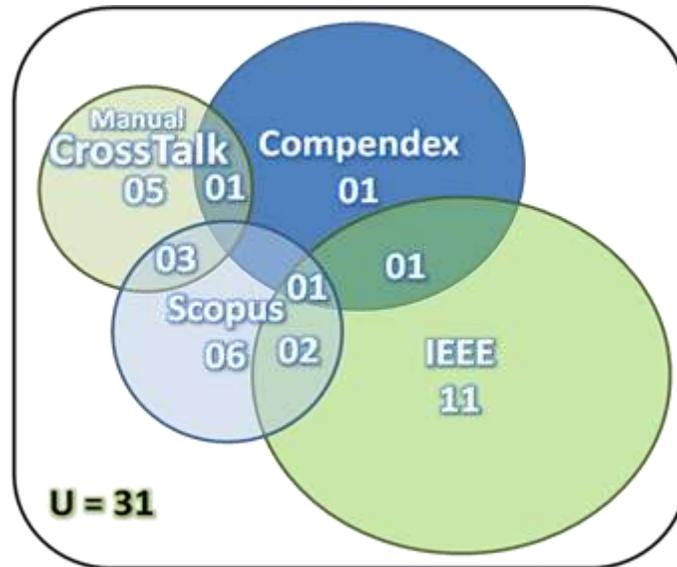


Figura 5 – Publicações que passaram pelo primeiro filtro



Figura 6 – Concentração das publicações que passaram pelo primeiro filtro

Quando aplicável, o segundo filtro foi mais rígido, para os propósitos do estudo, que o primeiro. Era necessário atender a três diferentes critérios: (i) ser uma técnica de análise de valor agregado; (ii) ser uma **nova técnica**; (iii) evidenciar, o seu uso através da sua aplicação em um estudo de caso real, ou através de simulações.

Para todos os artigos lidos, o formulário de coleta de dados foi preenchido. Para as publicações que não permaneceram no estudo (ou seja, falharam em atender o segundo filtro) apenas os itens do formulário de coleta que puderam ser respondidos foram preenchidos. O preenchimento do formulário de coleta foi completo para todas as publicações que passaram no segundo filtro. No total, 24 artigos foram selecionados para o escopo do estudo baseado em revisão sistemática, conforme pode ser visto na Figura 7. Novamente, a predominância de publicações indexadas pela IEEE (10) e pela Scopus (12) foi percebida. A IEEE e a Scopus concentram 61% (76 em 108) das publicações selecionadas pelas palavras-chave e 71% (19 em 24) das publicações incluídas no estudo, conforme ilustra a figura 8.

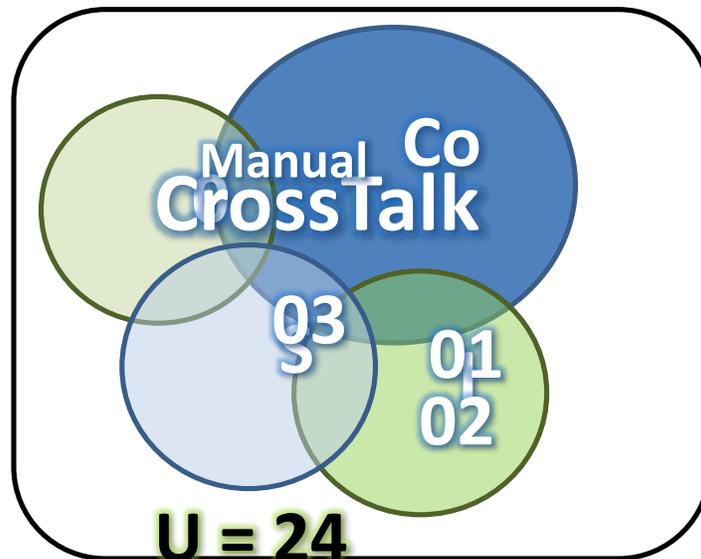


Figura 7 – Publicações que passaram pelo segundo filtro



Figura 8 – Publicações que passaram pelo 2º filtro

I.11. Considerações sobre o Resultado do Estudo

Foram avaliadas 24 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 de novas variáveis, a reformulação de equações ou a utilização conjunta da EVA e controle estatístico de processo, além da comparação da análise de valor agregado com suas extensões ou evoluções, a distribuição dos temas pode ser vista na figura 9.

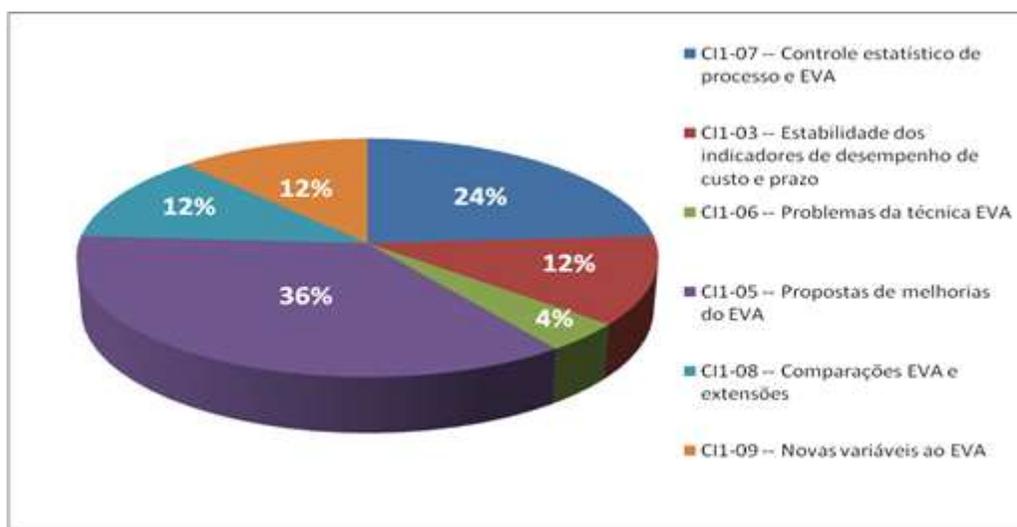


Figura 9 – Temas abordados pelas publicações

Como pode ser visto na figura 9, 36% das publicações selecionadas tratavam de propostas de melhorias nas técnicas da EVA, 24% tratavam da aplicação da EVA junto do controle estatístico de processos, 12% tratavam do acréscimo de novas variáveis à EVA, 12% tratavam a questão da estabilidade dos indicadores de desempenho de custo e prazo, 12% das publicações apresentavam comparações entre a EVA e suas extensões e apenas 4% apontavam os problemas da técnica.

I.11.1. Questões de pesquisa

O objetivo da realização dessa revisão sistemática foi responder a questão primária:

“Os indicadores de desempenho de custo (Cost Performance Index - CPI) e cronograma (Schedule Performance Index - SPI) da técnica de análise de valor agregado são estáveis?”

E a questão secundária:

“Dentro de quais intervalos os indicadores de desempenho de custo (CPI) e cronograma (SPI) são estáveis? Para projetos de quais contextos?”

A avaliação da estabilidade dos indicadores de desempenho de custo e prazo, é medida pelo quanto os valores acumulados dos indicadores de desempenho variam, a partir de 20% de execução do projeto. Assim, todo projeto que apresentar variabilidade, menor que 20% (intervalo + ou - 10%), para os indicadores de desempenho de custo e tempo, após estar 20% completo, é considerado estável.

Das publicações avaliadas, apenas 33% indicou estabilidade do indicador de desempenho de custo (essa publicação data de 1992 e foi adicionada a revisão sistemática porque era uma das principais referências sobre o assunto), as outras 67% indicaram instabilidade dos indicadores de desempenho de custo, conforme ilustra a figura 10.

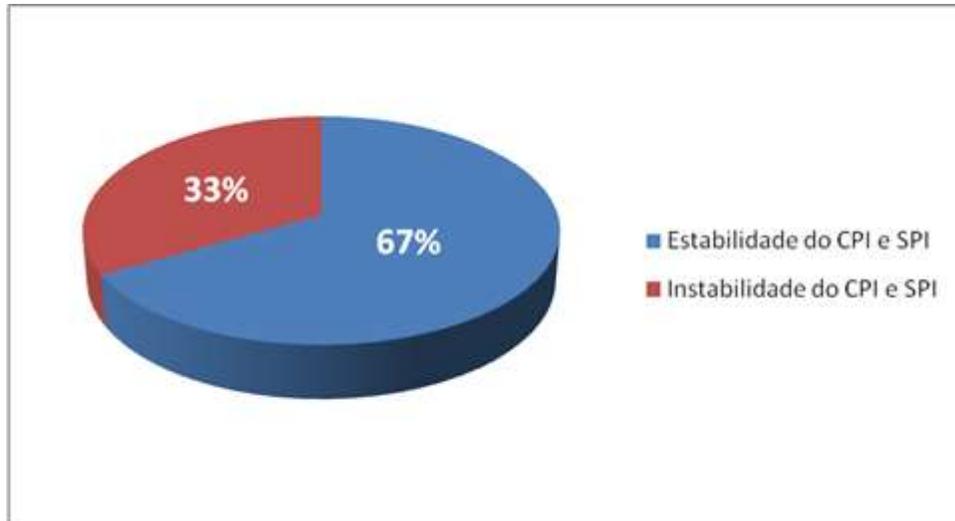


Figura 10 – Publicações que indicam estabilidade e instabilidade do CPI

Todas as publicações relacionadas ao assunto não testaram o indicador de desempenho de prazo, porque esse indicador tende a 1 no final do projeto, dificultando sua utilização como meio de prever o comportamento do cronograma. Dessa maneira 100% das publicações consideraram o indicador de desempenho de prazo instável e não previsível.

Questão secundária – Contexto dos projetos avaliados.

Christensen (1992) constatou estabilidade do índice de desempenho de custo, avaliando 155 projetos do departamento de defesa americano (do inglês *Department of Defense* – DoD). Entre os projetos avaliados nesse estudo estavam projetos de aviões, de submarinos, de armamentos para aviões, de helicópteros, de mísseis, de foguetes, de satélites, entre outros, ou seja, tratava-se de grandes projetos. Esse estudo concluiu que o CPI é estável com 95% de nível de confiança. Dos 155 projetos avaliados, 134 (86%) apresentaram estabilidade a partir de 20% de execução, 141 (91%) apresentaram estabilidade com 30% de execução, 150 (97%) apresentaram estabilidade com 40% de execução e 153 (99%) apresentaram estabilidade com 50% de execução, conforme ilustra a figura 11.

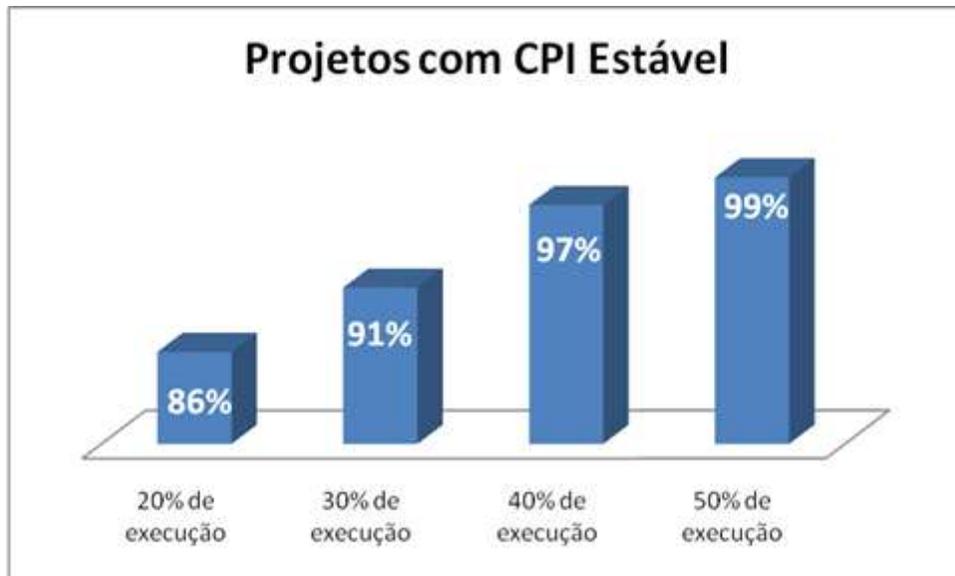


Figura 11 – Projetos com CPI estáveis na publicação *Cost Performance Index*

Já Zwikael (2008) constatou instabilidade do indicador de custo e de uma extensão do indicador de desempenho de prazo denominado SPI(t). Neste estudo foram avaliaram 24 projetos para o indicador de desempenho de prazo (SPI(t)) e 26 para o indicador de desempenho de custo CPI. Ao contrário do estudo anterior, esse estudo avaliou projetos de 3 diferentes áreas, em 3 diferentes países, sendo 24 projetos do setor de construção civil do Reino Unido, 12 projetos de alta tecnologia de Israel e 9 projetos de TI da Austrália. Nesta publicação o indicador de desempenho de custo só se mostrou estável, na maioria dos projetos, entre 70% e 80% de sua execução.

Finalmente LIPKE (2005) num estudo similar ao de Zwikael (2008) também identificou instabilidade no indicador de desempenho de custo. Entretanto, não foi citado o escopo dos projetos estudados. Esta publicação concluí ainda que o CPI pode ser estável em projetos de grande duração, cerca de 6,7 anos de duração e é instável, na maioria das vezes, em projetos de curta duração.

Ainda que os resultados das publicações mais recentes sejam conclusivos, indicando instabilidade no indicador de desempenho de custo, após 20% de execução, para projetos de curta duração (menor que 2 anos), todos os autores indicam a falta de pesquisas

relacionadas ao assunto e indicam que a descrição de justificativas para as causas da estabilidade ou instabilidade dos indicadores de desempenho de custo e prazo representariam um enorme avanço para a gerência de projetos moderna.

A segunda questão secundária:

“Existem propostas para a melhoria da previsibilidade dos indicadores de desempenho de custo (CPI) e cronograma (SPI)?”

- *“Alguma proposta utiliza Controle Estatístico de Processo (Statistic Process Control – SPC) para melhorar a previsibilidade dos indicadores de custo e cronograma?”*
- *“Alguma proposta acrescenta novas variáveis, visando aumentar a previsibilidade de custo e cronograma? Se sim, quais novas variáveis são propostas?”*

Entre os artigos que fizeram parte deste trabalho, 75% (15 artigos) propunham algum tipo de melhoria na técnica de análise de valor agregado. Desse conjunto, 50% das publicações propunham melhorias ou novas equações a EVA, 17% propunham novas variáveis a EVA e 33% propunham a utilização de controle estatístico de processo e cálculos estatísticos em conjunto com EVA, conforme ilustra a figura 12.

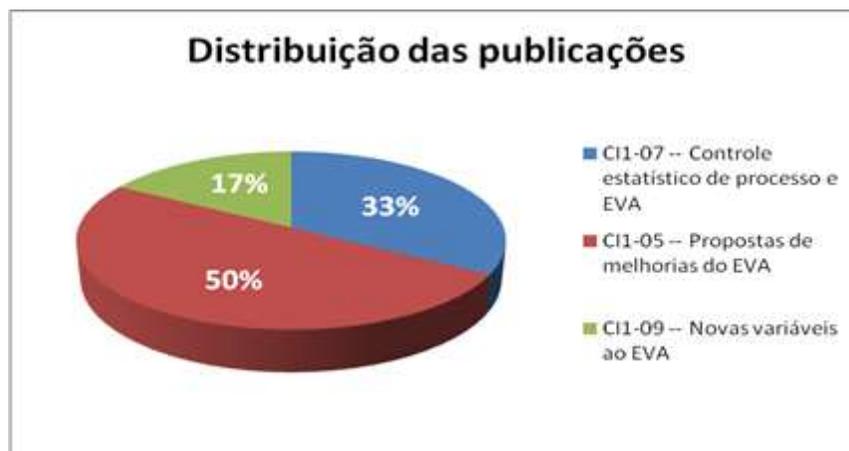


Figura 12 – Distribuição das publicações que tratam de alguma melhoria da EVA

Dos 9 artigos que propunham melhorias na forma como o EVA é calculado, 5 eram de um mesmo autor, e propunham a utilização da regressão linear de dados de projetos anteriores. Os artigos tinham formato e resultados muito parecidos entre si e não chegaram a ser validados num estudo de caso real, todos os resultados eram baseados em simulação.

Outras 2 publicações eram falso positivos e mostravam formas alternativas de se trabalhar com a análise de valor agregado, e não propunha um objetivo de melhorar a técnica.

Somente as 2 publicações restantes apresentaram propostas de melhorias, baseadas na regressão linear dos dados dos projetos para calcular a estimativa independente para completar o projeto (do inglês o *Independent Estimated at Completion* – IEAC). As 2 publicações adotam como premissa que o CPI é estável a 20% de execução e que a distribuição dos dados do projeto é normal (ambas premissas questionadas por diversos autores).

Das 15 publicações que tratavam melhorias, apenas 3 foram classificadas como publicações que propunham o acréscimo de novas variáveis, sendo que destas, 2 foram consideradas falsos positivos (uma delas calculava o risco do projeto com base em informações da análise de valor agregado e outra propunha a análise de valor agregado para qualidade, mas sem adicionar a variável qualidade afim de melhorar a previsibilidade das estimativas para completar). A terceira publicação propunha um modelo que levava em consideração a curva de aprendizado no calculo do EAC. Entretanto, a curva de aprendizado também representa uma regressão nos dados de uma amostra, e se os dados não forem normalizados, ele também tende a falhar. Essa publicação também não discute a normalidade ou não dos dados.

Finalmente, das 15 publicações estudadas, 6 relatavam a aplicação conjunta da análise de valor agregado e controle estatístico de processo.

Destas 6 publicações, 2 tinham informações relevantes para este estudo.

Primeiramente, LIPKE (2002) mostrou que os dados derivados do CPI e SPI não possuem distribuição normal, principalmente pelo fato de representarem a divisão de 2 medidas positivas, sendo assim o valor deles nunca será negativo. No exemplo da figura 13, no histograma da direita, temos a média como 1,013 e o desvio padrão igual a 0,365. Neste exemplo, teríamos o limite superior igual a 2,108 e limite inferior igual a -0,082, sendo que é impossível termos CPI ou SPI negativos. Assim a distribuição do SPI e CPI são consideradas desviadas para direita, conforme ilustra a figura 13.

Na figura 13, as linhas sólidas do histograma medem o CPI acumulado real, no decorrer do projeto, as linhas tracejadas representam os valores esperados, caso a distribuição fosse normal.

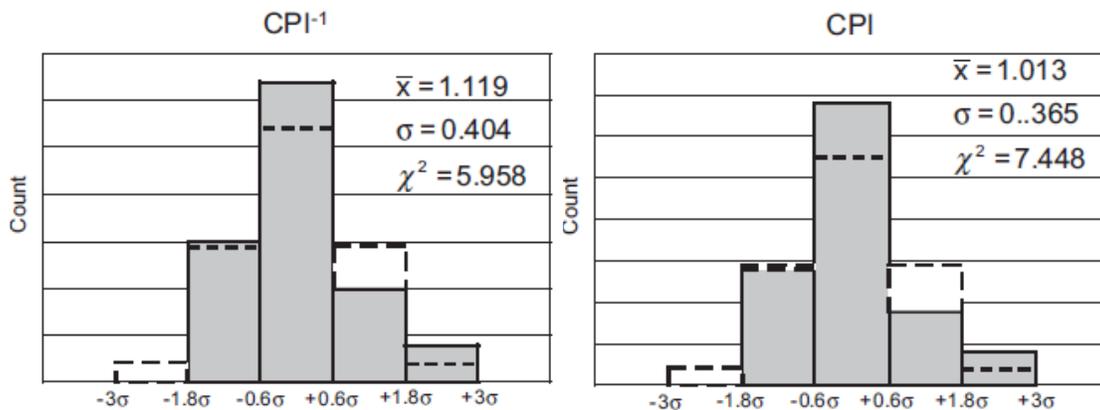


Figura 13 – Distribuição das observações do CPI e CPI⁻¹

LIPKE (2002), mostra ainda outra inconsistência nos dados, decorrentes deste problema. Ao exibir os dados do SPI e SPI⁻¹ num gráfico de controle, o SPI demonstra um comportamento diferente do SPI⁻¹, o que não deveria ocorrer. No gráfico de controle do SPI um dos pontos representa um sinal, que deve ser investigado, e no gráfico SPI⁻¹ isso não ocorre, conforme mostra a figuras 14.

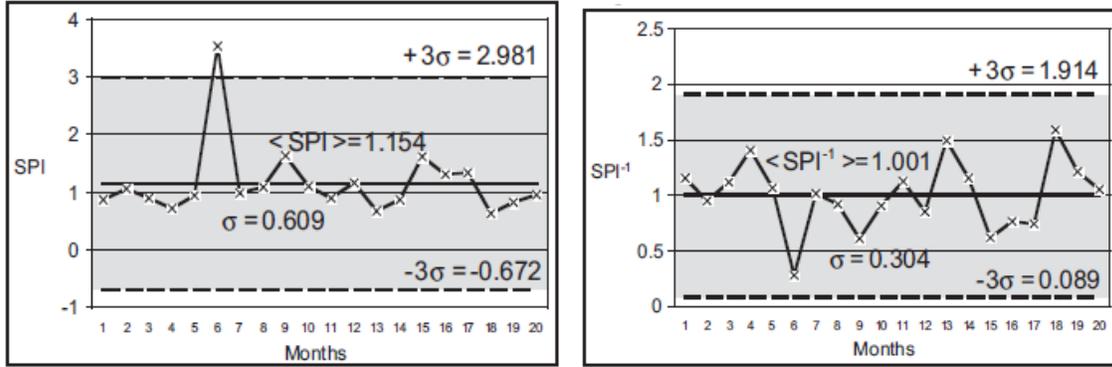


Figura 14 – Gráfico de controle de e SPI^{-1} com dados na base decimal

A solução dada para este problema consistiu na transformação dos dados para a base logarítmica, através da aplicação do logaritmo natural nos valores da amostra. Os novos gráficos de controle são exibidos, após a transformação de suas bases, na figura 15. Nessa figura é possível observar um comportamento igual entre eles (o que era de se esperar).

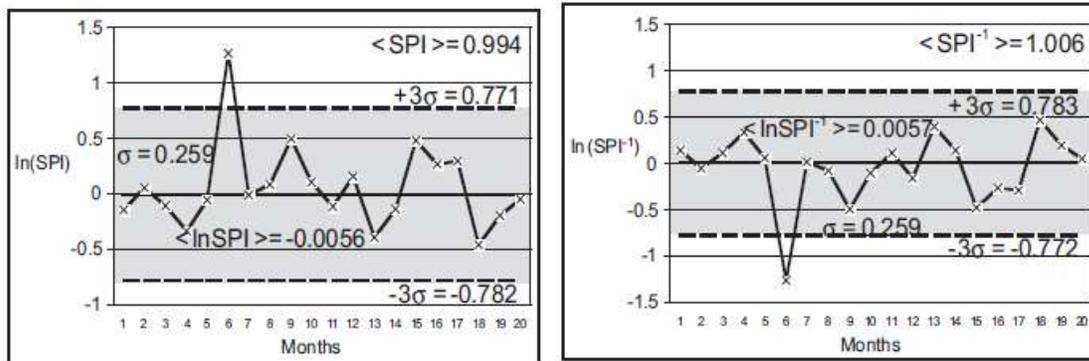


Figura 15 - Gráfico de controle de SPI e SPI^{-1} com dados na base Ln

Essa solução acabou com a inconsistência dos dados exibidos no gráfico de controle e ainda melhorou a distribuição dos dados no histograma do CPI e CPI^{-1} , após passá-los para a base Ln, conforme ilustra a figura 16.

Uma das principais lições aprendidas com essa publicação é que: os dados dos indicadores de desempenho de custo e prazo, normalmente não têm distribuição normal, o que impede que eles sejam utilizados para prever o comportamento dos projetos. E que a

transformação da base dos indicadores de decimal para logarítmica pode mudar a distribuição para normal, permitindo a realização de diversas operações estatísticas como, por exemplo, a regressão linear.

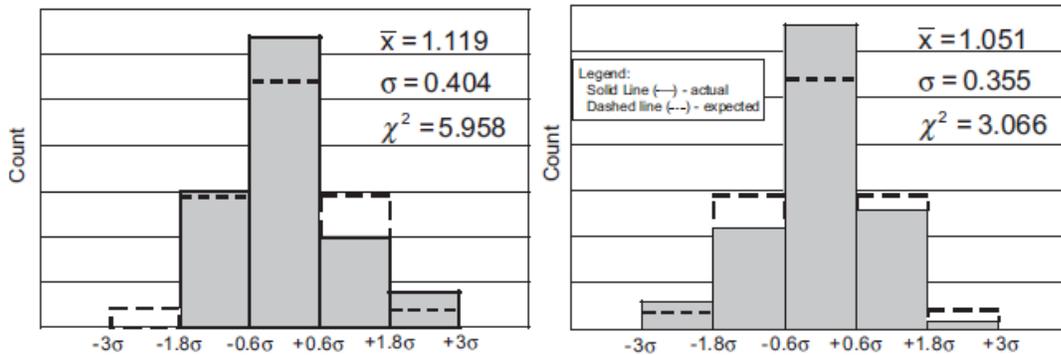


Figura 16 – Histograma do CPI⁻¹ antes (base decimal) e depois de passá-lo para a base Ln

Outra publicação de LIPKE (2006), reporta o uso de uma abordagem estatística que é utilizada com a técnica de análise de valor agregado visando responder as seguintes questões: i) Qual a probabilidade de sucesso de um projeto com um dado plano de projeto?, ii) Quanto deve ser alocado em reservas para garantir uma alta probabilidade de sucesso nos projetos?, iii) Se as reservas do projeto, representam uma restrição, para manter o preço de venda competitivo, qual a probabilidade de sucesso do projeto?, iv) Pode-se estimar com algum grau de confiança, quanto falta para completar o projeto e simultaneamente projetar os custos finais do projeto?

A primeira questão levantada por LIPKE (2006) é que, para que a regressão seja aplicada nos dados dos projetos e predizer os resultados de custo e prazo, é necessário que os dados da amostra estejam normalizados. O que, conforme foi discutido anteriormente não acontece para os dados do CPI e SPI, que comumente possuem distribuição desviada para direita. Sendo assim LIPKE (2006) reafirma a necessidade de transformação dos dados para base logarítmica para resolver esse problema. Uma vez resolvido o problema da normalização dos dados, é proposta uma equação para o cálculo dos limites de confiança dos projetos, com um nível de confiança específico (90%). Essa equação é exibida abaixo:

$$\text{CL} = \text{Média} \pm Z * \text{Desvio Padrão} / \sqrt{N}$$

, onde:

- Z é o nível de confiança que pode variar de 90% a 99%;
- Desvio Padrão representa a variação dos valores observados, ou o desvio padrão;
- \sqrt{N} é a raiz quadrada do número de amostras;

Com essas informações é possível calcular os limites superiores e inferiores de um projeto com nível de confiança de 90% a 99%. Supondo um projeto com orçamento de \$ 1.000, com 16 atividades já realizadas, com CPI acumulado de 0,931 e desvio padrão de 0,340, temos os seguintes limites superiores e inferiores:

$$\text{CL} = \text{Média} \pm Z * \text{Desvio Padrão} / \sqrt{N}$$

$$\text{CL} = 0,931 \pm (1,645) * (0,34 / \sqrt{16})$$

$$\text{CL} = 0,931 \pm 0,140$$

$$\text{CL}_{\text{Maior}} = 1,071 \quad \text{CL}_{\text{Menor}} = 0,791$$

Com esses valores, podemos calcular os limites inferiores e superiores do orçamento com 95% (o valor 1,645 é retirado da tabela Z) de nível de confiança, utilizando a fórmula:

$$\text{IEAC} = \text{BAC} / \text{CL}$$

E o resultado final seria: IEAC = \$ 934 à \$ 1.264

Agora, assumindo que a probabilidade dos limites de orçamento estabelecidos não serão excedidos, o indicador de desempenho de custo deve ser maior ou igual a 0,85 ou 1,176 ($\text{CPI}^{-1} 1/0,85 = 1,176$), como o CPI é 0,931, o seu CPI^{-1} é $1/0,931 = 1,074$).

Para isso utilizaremos a equação abaixo:

$$Z = (X - \text{Média}) / (\text{DesvioPadrão} / \sqrt{N})$$

, onde

- X é o valor almejado
- \sqrt{N} é a raiz quadrada do número de observações;

Lançando as informações na equação temos:

$$Z = (X - \text{Média}) / (\text{DesvioPadrão} / \sqrt{N})$$

$$Z = (1,176 - 0,931) / (0,340 / \sqrt{16})$$

$$Z = 0,102 / 0,085$$

$$Z = 1,2$$

Convertendo o valor de Z, utilizando a distribuição normal, encontraremos a probabilidade de 88,5% (procurar pelo valor 1.2 na tabela de distribuição normal). Assim, existem 88,5% de chance do projeto ser finalizado com custo entre \$ 934 à \$ 1.264.

Entretanto, ainda segundo LIPKE (2006), existem vários outros problemas decorrentes da maneira como esse cálculo foi feito, entre eles:

- A ausência de normalidade dos dados (que pode ser contornada trabalhando-se com a conversão dos indicadores para a base logarítmica);
- A população finita (a equação descrita acima utiliza como premissa que a população é infinita), e para resolver esse problema é utilizado um ajuste para que ela funcione;
- Quantidade de observações menores que 30 (resolvido utilizando a distribuição Student-t);

- Aumento da ineficiência (o CPI tende a ser menor que o acumulado no final do projeto).

Assim, dado o mesmo projeto, se assumirmos que o CPI acumulado no final do projeto é de 0,911 e a variação mensal (desvio padrão) é de 0,250, podemos usar a seguinte equação para resolver o problema:

$$\ln CL = (\ln \text{ Média}) \pm Z * \text{Desvio Padrão} / \sqrt{N} * \text{Fator de ajuste para população finita}$$

$$\ln CL = (\ln (0,911)) \pm (1,645) * (0,250 / \sqrt{16}) * \sqrt{((21-16) / (21-1))}$$

$$\ln CL = - 0,093 \pm 0,051$$

$$\ln CL = - 0,042, - 0,0144$$

$$CL_{\text{Maior}} = 0,959$$

$$CL_{\text{Menor}} = 0,866$$

Onde:

- O ajuste para população finita é dado pela Raiz quadrada de $[(N-n)/(N-1)]$.

Subtraindo o CL negativo de 1, temos CL = 0,866 e 0,959.

Corrigindo o IEAC, temos IEAC = BAC / CL = \$ 1043 a \$ 1155.

Podemos corrigir também a probabilidade de atingirmos esse resultado, com a equação abaixo:

$$Z = (\ln X - \ln \text{ Média}) / (\text{Desvio Padrão} / \sqrt{N}) * \text{Ajuste para população finita}$$

Que resulta nos seguintes valores:

$$Z = (\ln 1,176 - \ln 1,074) / [(0,25 / \sqrt{16}) * (21-16) / (21-1)]$$

$$Z = (0,163 - 0,093) / [(0,25 / \sqrt{16}) * (21-16) / (21-1)]$$

$$Z = 0,070 / [0,062 * 0,05]$$

$$Z = 2,240$$

Convertendo o valor de $Z = 2.240$, utilizando a tabela *Student-t*, encontraremos o valor de 98%. Ou seja, um valor diferente e mais preciso que o anterior, e que indica que existe 98% de chances do projeto ser finalizado com um orçamento entre \$ 1043 a \$ 1155.

I.12. Dados Coletados

A seguir, a tabela 3 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.

Tabela 3 – Publicações da base SCOPUS com critérios de Inclusão e Exclusão

ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
01	<i>Assessing executability in large complex programs</i>	CE1-14	---
02	<i>Prediction of project outcome. The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes</i>	CI1-05	---
03	<i>Research on monitoring and forecasting of project performance based on stochastic S curves</i>	CI1-07	N.O.
04	<i>Earned value Analysis - Why it doesn't work</i>	CI1-06	---
05	<i>Probabilistic earned value forecasting and activity performance index using Monte Carlo simulation</i>	CI1-07	N.O.
06	<i>Earned value project management of model-centric software development</i>	CI1-05	---
07	<i>The impending expertise crisis: New technology comes to the rescue</i>	CE1-02	---

ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
08	<i>Team performance and information system implementation: Application of the progress curve to the earned value method in an information system project</i>	CI1-05	---
09	<i>Does project performance stability exist? A re-examination of CPI and evaluation of SPI(t) stability</i>	CI1-03	---
10	<i>Integrated cost and schedule control in the Korean construction industry based on a modified work-packaging model</i>	CE1-13	---
11	<i>A new formula to "estimate at completion" of a project's time to improve "earned value management system"</i>	CI1-04	---
12	<i>Project performance measurement through earned value management methodology</i>	CE1-11	---
13	<i>Cost information model for managing multiple projects</i>	CE1-02	---
14	<i>Knowledge-based standard progress measurement for integrated cost and schedule performance control</i>	CE1-02	---
15	<i>Research on earned value method for software project tracking</i>	CE1-14	---
16	<i>Practical experiences of cost/schedule measure through Earned Value Management and Statistical Process Control</i>	CI1-07	---
17	<i>Designing in UML with the team software process</i>	CE1-02	---
18	<i>Statistical methods applied to EVM: The next frontier</i>	CI1-07	---
19	<i>A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics</i>	CI1-08	---
20	<i>Application of earned value management in software project's cost and schedule monitoring</i>	CE1-14	---
21	<i>Using Weibull analysis for evaluation of cost and schedule performance</i>	CI1-07	---
22	<i>Reviewing the assumptions behind performance indexes</i>	CI1-06	N.O.
23	<i>Independent estimates at completion - Another method</i>	CI1-05	---
24	<i>Earned value project management method and extensions</i>	CI1-05	---
25	<i>QEST nD: n-dimensional extension and generalisation of a software performance measurement model</i>	CE1-13	---
26	<i>Defining cost/schedule performance indices and their ranges for design projects</i>	CE1-13	---

A seguir, a tabela 4 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.

Tabela 4 – Publicações da base COMPENDEX com critérios de Inclusão e Exclusão

ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
01	<i>Enhancing open source software in alignment with CMMI-DEV</i>	CE1-02	---
02	<i>New upper stage propulsion concept for future launchers</i>	CE1-02	---
03	<i>Integrating functional metrics, COCOMO II and Earned Value Analysis for software projects using PMBoK</i>	CE1-13	---
04	<i>Monitoring software projects with earned value analysis and use case point</i>	CE1-14	---
05	<i>Earned value project management of model-centric software development</i>	CI1-05	---
06	<i>Parametric project monitoring and control: Performance based progress assessment and prediction</i>	CI1-04	---
07	<i>Earned value application in single and portfolio IT projects</i>	CE1-13	---
08	<i>Earned schedule: An emerging enhancement to earned value management</i>	CI1-05	---
09	<i>Integrating three level 2 CMMI process areas: Closing the loop on software project management</i>	CE1-14	---
ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
10	<i>Earned value and Agile reporting</i>	CE1-13	---
11	<i>A five-step method for value-based planning and monitoring of systems engineering projects</i>	CE1-14	---
12	<i>Predicting value-creation in software project complexity</i>	CE1-02	---
13	<i>Web-based delivery of laboratory experiments and its effectiveness based on student learning style</i>	CE1-02	---
14	<i>Teaching software project management using simulations</i>	CE1-02	---
15	<i>Benchmarking processes and savings</i>	CE1-02	---

ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
16	<i>Bringing realistic software engineering assignments to the software engineering classroom</i>	CE1-14	---
17	<i>Teaching software project management using simulations</i>	CE1-14	---
18	<i>Evaluating the relative performance of engineering design projects: A case study using data envelopment analysis</i>	CE1-13	---
19	<i>UsingTSP with a multi-disciplined project management system</i>	CE1-13	---
20	<i>Start with "simple" earned value on all your projects</i>	CE1-14	---
21	<i>Lessons learned using agile methods on large defense contracts</i>	CE1-13	---
22	<i>Variance analysis in earned value measurements when large uncertainties exist in underlying estimates</i>	CE1-13	---
23	<i>The use of modeling simulation-based anal. & optim. of soft. Test</i>	CE1-14	---
24	<i>Using earned value management for COTS-based systems: Issues and recommendations</i>	CE1-13	---
25	<i>RBOSTP: Risk-based optimization of software testing process Part 1</i>	CE1-13	---
26	<i>RBOSTP: Risk-based optimization of software testing process Part 2</i>	CE1-13	---
27	<i>Managing discovery risks - A tevatron case study</i>	CE1-13	---
28	<i>Tracking and control of linear infrastructure projects</i>	CE1-14	---
29	<i>Value-based software engineering: A case study</i>	CE1-14	---
30	<i>Integrating risk into an engineering economy course with simulation software</i>	CE1-14	---
31	<i>Software project estimation: Experiences from a large scale object-oriented Ada project</i>	CE1-02	---
32	<i>Managing by the numbers: A tutorial on quantitative measurement and control of software projects</i>	CE1-14	---

A seguir, a tabela 4 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.

Tabela 4 – Publicações da base COMPENDEX com critérios de Inclusão e Exclusão

ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
01	<i>Applying earned value metrics to flight testing</i>	CE1-13	---
02	<i>AgileEVM - earned value management in Scrum Projects</i>	CE1-13	---
03	<i>Modern Project Management: A New Forecasting Model to Ensure Project Success</i>	CI1-05	---
04	<i>Using Enhancement Method to Improve Earned Value Index to Achieve an Accurate Project Time and Cost Estimation</i>	CI1-08	---
05	<i>EVM at NASA: An Integrated, Lightweight Solution</i>	CE1-13	---
06	<i>Implementation and Evaluation of Earned Value Index to Achieve an Accurate Project Time and Cost Estimation and Improve "Earned Value Management System"</i>	CI1-08	---
07	<i>A New Forecasting Model to Improve Earned Value Index to Achieve an Accurate Project Time and Cost Estimation</i>	CI1-05	---
08	<i>Establishing a program for applying earned value metrics to flight test</i>	CE1-13	---
09	<i>Using Cost-Risk to Connect Cost Estimating and Earned Value Management (EVM)</i>	CI1-09	CE1- 13
10	<i>A new formula to "Estimate At Completion" of a Project's time to improve "Earned Value Management System"</i>	CI1-05	---
11	<i>Cost at Risk in R&D Project Risk Management</i>	CI1-09	---
12	<i>A Web-based Framework of Project Performance and Control System</i>	CE1-14	---
13	<i>Earned Value Management Software Projects</i>	CE1-14	---
14	<i>Integrating Three Level 2 CMMI; Process Areas: Closing the Loop on Software Project Management</i>	CI1-04	---
15	<i>Parametric Project Monitoring and Control: Performance-Based Progress Assessment and Prediction</i>	CI1-04	---
16	<i>Making agile development work in a government contracting environment-measuring velocity with earned value</i>	CE1-13	---

ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
17	<i>An Emotional Learning based Fuzzy Inference System (ELFIS) for improvement of the completion time of projects estimation</i>	CE1-02	---
18	<i>Earned value and agile reporting</i>	CE1-13	---
19	<i>Risk Management Method Using Data from EVM in Software Development Projects</i>	CI1-09	---
20	<i>Economic analysis of a stopping-rule in branch coverage testing</i>	CI1-09	---
21	<i>High assurance software testing in business and DoD</i>	CE1-13	---
22	<i>Study on Cost and Schedule Control in Warship Planned Maintenance</i>	CE1-13	---
23	<i>The Method of Multi-objective Integrated Progress Control on Aviation Project</i>	CE1-14	---
24	<i>Managing discovery risks - a Tevatron case study</i>		---
25	<i>Earned Value Project Management of Model-Centric Software Development</i>	CE1-13	---
26	<i>Estimating Design Costs for First-of-a-kind Projects</i>	CE1-13	---
27	<i>Monitoring Software Projects with Earned Value Analysis and Use Case Point</i>	CE1-14	---
28	<i>Variance analysis in earned value measurements when large uncertainties exist in underlying estimates</i>	CI1-03	---
29	<i>On application of earned value index to software productivity metrics in embedded computer systems</i>	CE1-13	---
30	<i>Evaluating the Relative Performance of Engineering Design Projects: A Case Study Using Data Envelopment Analysis</i>	CE1-13	---
31	<i>Earned value project management method and extensions</i>	CE1-13	---
32	<i>Project control and risk management for project success: A South African case study</i>	CE1-13	
33	<i>A Five-Step Method for Value-Based Planning and Monitoring of Systems Engineering Projects</i>	CE1-14	
34	<i>Bringing Realistic Software Engineering Assignments to the Software Engineering Classroom</i>	CE1-13	
35	<i>Enterprise Architecture and IT Governance: A Risk-Based Approach</i>	CE1-13	

ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
36	<i>Progress in large-shared projects: Method for forecasting and optimizing project duration in a distributed project</i>	CE1-13	
37	<i>SoftTrak: an industrial case study</i>	CE1-14	
38	<i>Parachuting software engineering practices into the hostile environment of 4th year final term</i>	CE1-13	
39	<i>Managing schedule and financial risk: lessons learned on X2000</i>	CE1-13	
40	<i>Earned quality: improving project control</i>	CI1-09	
41	<i>Integrated cost and schedule control</i>	CE1-14	
42	<i>Fundamentals of Project Management, 3rd ed. (Lewis, J.P.; 2006)</i>	CE1-13	
43	<i>Surf's Up: The Project Management Process</i>	CE1-14	
44	<i>Accomplishments in Field Period Assembly for NCSX This is how we did it</i>	CE1-14	
45	<i>Flexible hardware for fingerprint Image Processing</i>	CE1-14	
46	<i>Agile 2006 Research Papers</i>	CE1-13	
47	<i>Walking the talk: building quality into the software quality management tool</i>	CE1-14	
48	<i>USMC H-1 Upgrade flight test; a systems engineering approach</i>	CE1-02	
49	<i>Earned-value based project management incentive contracts under Chinese guanxi</i>	CE1-13	
50	<i>Managing by the numbers: a tutorial on quantitative measurement and control of software projects</i>	CE1-14	

A seguir, a tabela 4 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. Os artigos com a sigla N.O. indicam que, ainda que aprovados, não foram obtidos.

Tabela 5 – Publicações da base Crosstalk com critérios de Inclusão e Exclusão

ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
01	<i>EVM and Software Project Management Our Story</i>	CE1-14	---
02	<i>Connecting Earned Value to the Schedule</i>	CI1-09	---
03	<i>Performance-Based Earned Value</i>	CE1-14	---

ID	Título da publicação	1º filtro	2º filtro
04	<i>Practical Performance-Based Earned Value</i>	CE1-14	---
05	<i>Statistical Methods Applied to EVM The Next Frontier</i>	CI1-07	---
06	<i>Start With “Simple” Earned Value on All Your Projects</i>	CE1-14	---
07	<i>Earned Schedule An Emerging Enhancement to Earned Value Management</i>	CI1-08	---
08	<i>Earned Value Management Are Expectations Too High</i>	CE1-14	---
09	<i>Does Project Performance Stability Exist A Re-examination of CPI and Evaluation of SPI(t) Stability</i>	CI1-03	---
10	<i>Project Duration Forecasting Comparing EVM Methods to ES</i>	CI1-08	---
11	<i>The Two Most Useful Earned Value Metrics: The CPI and the TCPI</i>	CE1-14	---
12	<i>Software Project Planning, Statistics, and Earned Value</i>	CI1-07	---
13	<i>Statistical Process Control Meets Earned Value</i>	CI1-07	---
14	<i>Statistical Process Control of Project Performance</i>	CI1-07	---
15	<i>Personal Earned Value</i>	CE1-13	---
16	<i>Independent Estimates at Completion - Another Method</i>	CI1-04	---

I.13. Dados Coletados

Esta seção apresenta 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	
REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Does Project Performance Stability Exist A Re-examination of CPI and Evaluation of SPI(t) Stability</i> , Kym Henderson, Dr. Ofer Zwikael, <i>Cross Talk</i> , Vol 21, Nro 04, pgs 7 – 13, April, 2008

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo apresenta a avaliação da estabilidade dos indicadores de desempenho de custo CPI e uma extensão do indicador de desempenho de prazo, para um conjunto de 24 projetos do setor de construção civil do Reino Unido, 12 projetos de alta tecnologia de Israel e 9 projetos de TI da Austrália.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Avaliar a estabilidade dos indicadores de desempenho de prazo e custo.

2.3 Escopo da revisão de literatura

3. Estabilidade dos indicadores de desempenho de prazo (SPI) e custo (CPI)

Os autores adotaram a seguinte metodologia para avaliação da estabilidade dos indicadores. Caso o indicador variasse dentro do limite de + ou – 10% sobre o planejado, a partir de 20% de execução do projeto, ele seria considerado estável.

Portanto, a hipótese de pesquisa foi:

$$H1 \text{ (CPI): } |\text{CPI}(\text{final}) - \text{CPI}(20\%)| < 0,10$$

$$H2 \text{ (SPI(t)): } |\text{SPI}(t)(\text{final}) - \text{SPI}(t) (20\%)| < 0,10$$

Para o teste de hipótese foi realizado o teste (*Sign Test*), em decorrência dos dados não apresentarem distribuição normal.

3.1 Conclusão

Tanto o CPI quanto o SPI não são estáveis a 20% de execução do projeto. Essa estabilidade, de + ou – 10% só foi alcançada, na maioria dos projetos, entre 80% e 85% de execução, em conformidade com outras pesquisas similares.

3.2 Justificativa

Não foi dada nenhuma justificativa para a instabilidade dos indicadores de desempenho do projeto.

3.3 Contexto

Um conjunto de 24 projetos do setor de construção civil do Reino Unido, 12 projetos de alta tecnologia de Israel e 9 projetos de TI da Austrália. Não foi possível identificar o nível de maturidade em gerência de projetos das empresas que cederam seus dados para a pesquisa.

4. Referências Relevantes

Beach, Chester Paul, Jr. “A-12 *Administrative Inquiry. Report to the Secretary of Navy.*” Washington D.C.: *Department of the Navy*, 1990
<www.suu.edu/faculty/christensend/evms/beacha-1.pdf>

Christensen, David S. “*Using the Earned Value Cost Management Report To Evaluate The Contractor’s Estimate at Completion.*” *Acquisition Review Quarterly Summer 1999*: 283-295 www.dau.mil/pubs/arq/99arq/chrisevm.pdf

Christensen, David S., and Kirk Payne. “*Cost Performance Stability – Fact or Fiction?*” *Journal of Parametrics* 10 (1992): 27-40
www.suu.edu/faculty/christensend/evms/CPIstabilityJP.pdf

Zwikael, Ofer, et al. “*Evaluation of Models for Forecasting the Final Cost of a Project.*” *Project Management Journal* 31.1 (2000): 53-57. 22.

Popp, Michael. “*Probability Distributions of CPI at Complete vs. CPI Today.*” *Internal NAVAIR Report*, Unpublished, 1996. <sydney.pmichapters-australia.org.au/programs/customer/v_filedown.asp?P=31&FID=738016087&FRF=n&>

Coleman et al. “*Predicting Final CPI.*” *Presentation to the 4th Joint Annual ISPA/SCEA International conference*, Orlando, FL, June 2003.

Henderson, Kym. “*Recent Advances in Project Prediction Techniques.*” *Presentation to the IQPC IT Project Management Conference*, Sydney Australia, 1 May 2007 <www.earnedschedule.com/Docs/Recent%20Advances%20in%20Project%20Prediction%20Techniques.pdf>.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

O autor afirma que uma explicação ou justificativa para a estabilidade dos indicadores de desempenho seria extremamente útil e importante para o futuro da gerência de projetos.

6. Relevância do Artigo

1	2	3	4	X
Muito Ruim			Excelente	

Artigo 02

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Earned value project management of model-centric software development</i> , Li Jin-hua, Wei Chang-jiang, Li Jing, Li Qiong, <i>Wireless Communications, Networking and Mobile Computing</i> , pgs 01-04, 2008
---------------------------------------	--

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo descreve uma abordagem para gerenciar projetos de software com earned value (EV) combinado com pontos de função. O autor propõe uma conversão da métrica de tamanho do ponto de função, para a análise de valor agregado.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Não vi um objetivo claro na criação da abordagem. Apesar de inovador, aparentemente a proposta não provê melhoria na técnica.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

O artigo descreve uma abordagem para gerenciar projetos de software com earned value (EV) combinado com pontos de função. O autor propõe uma conversão da métrica de tamanho do ponto de função, para a análise de valor agregado.

Não houve comparação da técnica com o EVM tradicional, mas ainda que houvesse acredito que não seria conclusivo.

4. Referências Relevantes

Nenhuma...

5. Comentários adicionais do pesquisador.

Apesar de inovador, aparentemente a proposta não provê melhoria na técnica, ou seja, não serve para nada!!!

6. Relevância do Artigo

1	X	3	4	5
---	---	---	---	---

Muito Ruim

Excelente

Artigo 03

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Statistical Methods Applied to EVM The Next Frontier</i> , Walt LIPKE, June 2006, <i>CrossTalk</i> , Vol 19, nro 06, pgs 20 – 23
---	---

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo descreve a aplicação de métodos estatísticos à análise de valor agregado, com o intuito de melhorar a avaliação da probabilidade de sucesso dos projetos. O artigo se propõe a responder as seguintes questões:

1. Qual a probabilidade de sucesso de um projeto com um dado plano de projeto?
2. Quanto deve ser alocado em reservas para termos uma alta probabilidade de sucesso nos projetos?
3. Se as reservas do projeto, representam uma restrição para manter o preço de venda competitivo, qual a probabilidade de sucesso do projeto?
4. Eu posso estimar com algum grau de confiança quanto falta para completar o projeto e simultaneamente projetar os custos finais do projeto?

A primeira questão levantada pelo autor é que, para podemos aplicar a estatística nos dados dos projetos e podermos predizer os resultados de custo e prazo, é necessário que os dados da amostra sejam normalizados. O que não acontece para os dados do CPI, que comumente possuem distribuição Right-Skewed. Uma solução simples, de transformação dos dados para base logarítmica pode resolver esse problema, conforme ilustra a figura 1.

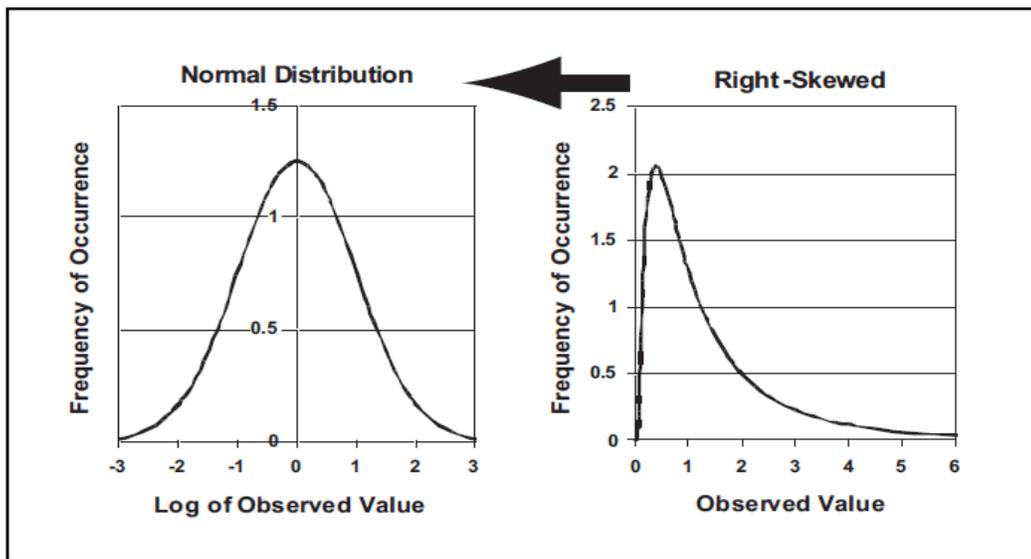


Figura 1 – Transformação da distribuição dos dados de *Right Skewed* para Normal

Uma vez resolvido esse problema o autor propõe uma equação para o calculo dos limites de confiança dos projetos, com um nível de confiança específico. Essa equação é exibida abaixo:

$$CL = \text{Mean} \pm Z * \sigma / \sqrt{N}$$

, onde,

- Z é o nível de confiança que pode variar de 90% a 95%;
- σ representa a variação dos valores observados, ou o desvio padrão;
- \sqrt{N} é o nro de observações;

Com essas informações é possível calcular os limites superiores e inferiores de um projeto com nível de confiança de 90% a 95%. Supondo um projeto com orçamento de \$ 1.000, com 16 atividades já realizadas, com CPI acumulado de 0,931 e desvio padrão de 0,340, temos os seguintes limites superiores e inferiores:

$$\begin{aligned}
 CL &= \text{Mean} \pm Z * \sigma/\sqrt{n} \\
 &= 0.931 \pm (1.645) * (0.340 / \sqrt{16}) \\
 &= 0.931 \pm 0.140 \\
 &= 1.071, 0.791
 \end{aligned}$$

Com esses valores, podemos calcular os limites inferiores e superiores do orçamento com 90% de nível de confiança, utilizando a fórmula:

$$IEAC = BAC / CL$$

E o resultado final seria: IEAC = \$ 934 à \$ 1.264

Agora, assumindo que a probabilidade de não excedermos os limites de orçamento estabelecidos, nosso indicador de desempenho de custo deve ser maior ou igual a 0,85 ou 1,176 (não entendi de onde veio esse nro!!!, mas desconfio que isso tenha a ver com a probabilidade de sucesso do projeto).

Para isso utilizaremos a equação abaixo:

$$Z = (X - \text{Mean}) / (\sigma/\sqrt{n}) \quad , \text{ onde}$$

- X é o valor de probabilidade almejado

Lançando as informações na equação temos:

$$\begin{aligned}
 Z &= (X - \text{Mean}) / (\sigma/\sqrt{n}) \\
 &= (1.176 - 1.074) / (0.340/\sqrt{16}) \\
 &= 0.102 / 0.085 \\
 &= 1.200
 \end{aligned}$$

Convertendo o valor de Z, utilizando a distribuição normal, encontraremos a probabilidade de 88,5% (procurar pelo valor 1.2 na tabela de distribuição normal, encontrar o valor e somar mais 0,5).

Ainda segundo o autor, existem vários outros problemas decorrentes da maneira como esse cálculo foi feito, entre eles:

- A ausência de normalidade dos dados (que pode ser contornada trabalhando-se com a conversão dos indicadores para a base logarítmica);
- A população finita (é utilizado um ajuste para que ele funcione);
- Amostras iguais;
- Quantidade de observações menores que 30 (resolvido utilizando a distribuição Student-t);
- Aumento da ineficiência (o CPI tende a ser menor que o acumulado no final do projeto).

Assim, dado o mesmo projeto, se assumirmos que o CPI acumulado é de 0,911 e a variação mensal (desvio padrão) é de 0,250, podemos usar a seguinte equação para resolver o problema:

$$\ln CL = \ln \text{Mean} \pm Z * \sigma / \sqrt{n} * \text{Adjustment for finite population}^4$$

$$\begin{aligned} &= \ln (0.911) \pm (1.645) * (0.250 / \sqrt{16}) * \\ &\quad \sqrt{((21 - 16) / (21 - 1))} \\ &= \ln 0.911 \pm 1.645 * 0.062 * 0.5 \\ &= \ln 0.911 \pm 0.051 \\ &= \ln 0.942, - 0.144 \\ &CL = 0.959, 0.866 \end{aligned}$$

Onde o ajuste para população finita é dado pela Raiz quadrada de [(N-n)/(N-1)].

Quando CL for negativo, subtrair de 1, assim CL ficou 0,866 e 0,959.

Corrigindo o IEAC, temos IEAC = BAC / CL = \$ 1043 a \$ 1155.

Podemos corrigir também a probabilidade de atingirmos esse resultado, com a equação abaixo:

$$Z = (\ln X - \ln \text{Mean}) \div [(\sigma/\sqrt{n}) * \text{Adjustment for finite population}]$$

Que resulta nos seguintes valores:

$$\begin{aligned} &= (\ln 1.176 - \ln 1.074) \div [(0.250/\sqrt{16}) * \sqrt{(21 - 16) / (21 - 1)}] \\ &= (0.163 - 0.093) \div [(0.250/\sqrt{16}) * \sqrt{(21 - 16) / (21 - 1)}] \\ &= 0.070 \div [0.062 * 0.5] \\ &= 2.240 \end{aligned}$$

Convertendo o valor de 2.240, utilizando a tabela Student-t, encontraremos o valor de 98%.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Dar o percentual de probabilidade de atingir determinado orçamento, utilizando o EVM e dados estatísticos.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

A evolução proposta utiliza dados estatísticos para calcular os limites superiores e inferiores do IEAC, com 90% de nível de confiança e a probabilidade de atingir esses valores.

4. Referências Relevantes

LIPKE, W. "A Study of the Normality of Earned Value Management Indicators." *The Measurable News* Dec. 2002: 1-16.

LIPKE, W. "Achieving Normality for Cost." *The Measurable News Fall/Winter* 2003: 1-11.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

O artigo é mto interessante e propõe a utilização da estatística para melhorar a confiabilidade das estimativas. Entretanto, o autor não utiliza dados históricos de outros projetos ou subprocessos.

6. Relevância do Artigo

1	2	3	4	X
----------	----------	----------	----------	----------

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 04

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Earned Value Analysis – Why it Doesn't Work</i> , Joseph A Lukas, <i>AACE International Transaction</i> , 2008
---	---

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, 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. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

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 05

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Using Enhancement Method to Improve Earned Value Index to Achieve an Accurate Project and Time Estimation</i> , Iman Attarzadeh, Ow Siew Hock, <i>International Conference on Future Computer and Communication</i> , 2009
---------------------------------------	---

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

Esse artigo é idêntico ao 05, 09 e 19.

O artigo apresenta um aprimoramento da técnica de análise de valor agregado, que utiliza dados históricos de outros projetos. Os resultados são obtidos através da simulação de 10 projetos e não através da utilização em projetos reais.

O autor não detalha como o “aprimoramento” é gerado.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Melhorar a previsibilidade do EVM.

2.3 Escopo da revisão de literatura

O Autor afirma que é necessária a realização de mais pesquisas sobre o EVM.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

O autor simplesmente destaca que a proposta utiliza dados históricos de projetos anteriores, mas não mostra com sua técnica os utiliza. Portanto, não é possível detalhar a proposta do autor.

4. Referências Relevantes

F. Anbari. "Earned value project management method and extensions", *Project Management Journal* vol.34, no.4,12-23 2003.

S. Vandevorde, M. Vanhoucke. "A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics", *International Journal of Project Management* vol.24, no.4, 289–302, 2006

D. F. Cioffi, "A tool for managing projects: an analytic parameterization of the S-curve", *International Journal of Project Management*, vol.23, no.3, 215–222, 2005

Christensen, D. S., & Templin, C. EAC Evaluation Methods: Do They Still Work? *Acquisition Review Quarterly, Project Management Journal* 2002, 105-116.

H. Iranmanesh, N. Mojir, S. Kimiagari A new formula to "Estimate At Completion" of a Project's time to improve "Earned value management system" *International Journal of Project Management*, 2007.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

O artigo fala mto pouco sobre a melhoria na técnica. Por isso foi mal avaliado.

6. Relevância do Artigo

1	X	3	4	5
----------	----------	----------	----------	----------

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 06

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>A new formula to "Estimate At Completion" of a Project's time to improve "Earned Value Management System", H. Iranmanesh, N. Mojir, S. Kimiagari, Industrial Engineering and Engineering Management, 2007</i>
---------------------------------------	--

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo apresenta um aprimoramento da técnica de análise de valor agregado, que utiliza dados históricos e regressão linear de outros 100 projetos, que foram gerados através de simulação. Não houve averiguação do método utilizando dados de projetos reais.

Nesse artigo o autor detalha o método.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Melhorar a previsibilidade do EVM, mais especificamente o SPI.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

O autor utiliza a análise de regressão linear de atividades de projetos de uma base de dados histórica (mas que foi gerada a partir de simulação), de 100 projetos.

O autor utiliza 3 premissas para fazer a análise de regressão:

1. 80% da duração das tarefas é subestimada e os 20% restantes são superestimadas;
2. No andamento diário do projeto, o progresso e uma atividade pode ser subestimada entre 70% a 100% da quantidade prevista para o dia ou superestimada de 100% a 130%.
3. Os dados têm distribuição normal e seguem os limites definidos nas premissas 1 e 2.

A análise de regressão linear encontrou índice de significância zero, indicando que a variável atividade explica o comportamento do indicador de desempenho de prazo.

O autor propõe a seguinte equação de regressão linear:

$$Y = C \times SPI^{\beta_1} \times APCD^{\beta_2} \times SDDT^{\beta_3} \times SPCD^{\beta_4} \quad (6)$$

Que resultou na equação:

$$\ln Y = \ln C + \beta_1 \times \ln SPI + \beta_2 \times \ln APCD \\ + \beta_3 \times \ln SDDT + \beta_4 \times \ln SPCD$$

E após a análise de regressão forneceu a seguinte equação para o escopo de projetos avaliados:

$$Y = 0.346 \times SPI^{1.066} \times APCD^{0.917} \times \\ SDDT^{0.420} \times SPCD^{-0.199}$$

Na minha opinião a simulação gerou um viés enorme na solução, é bem provável que os dados gerados a partir de simulação sejam dependentes, o que impede que eles sejam utilizados para a realização de análise de regressão.

4. Referências Relevantes

F. Anbari. "Earned value project management method and extensions", Project Management Journal vol.34, no.4, 12-23 2003.

S. Vandevoorde, M. Vanhoucke. "A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics", International Journal of Project Management vol.24, no.4, 289-302, 2006

D. F. Cioffi, "A tool for managing projects: an analytic parameterization of the S-curve", International Journal of Project Management, vol.23, no.3, 215-222, 2005

Christensen, D. S., & Templin, C. EAC Evaluation Methods: Do They Still Work? Acquisition Review Quarterly, Project Management Journal 2002, 105-116.

H. Iranmanesh, N. Mojir, S. Kimiagari A new formula to “Estimate At Completion” of a Project's time to improve “Earned value management system” International Journal of Project Management, 2007.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

O artigo seria melhor avaliado se fosse aplicado em projetos reais, ao invés de gerar simulações.

6. Relevância do Artigo

1	2	3	X	5
Pouco Relevante			Excelente	

Artigo 07

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Risk Management Method using Data from EVM, Akihiro HAYASHI, Nobuhiro Kataoka in Software Development Projects, Computational Intelligence for Modelling Control & Automation, 2008</i>
---------------------------------------	--

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O autor só utiliza dados de EVM para tentar prever riscos nos projetos. Acho que foi um falso positivo.

3. Relevância do Artigo

1	X	3	4	5
----------	----------	----------	----------	----------

Pouco Relevante	Excelente
Artigo 08	
ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS	
1. Dados de identificação	
REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Software Project Planning, Statistics, and Earned Value, Walt LIPKE and Mike Jennings, CrossTalk, December, 2000, Vol 13, No 12, Pgs 10 – 14.</i>
2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo	
2.1 Geral – Resumo da publicação	
<p>O autor apresenta uma ferramenta que calcula o risco de sucesso do projeto, através de um gráfico de controle, onde quando o indicador chegar perto de determinado limite, o risco aumenta progressivamente.</p>	
2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo	
<p>Mostrar um protótipo de uma ferramenta de GP, usado no DoD que mostra os riscos de sucesso de um projeto, baseado no desempenho dos indicadores de desempenho de custo.</p>	
3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):	
3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado	
<p>Não há propostas de melhorias.</p>	
4. Referências Relevantes	
<p><i>Sen, Surhita, EVM Concepts in SPC, 16th Annual College of Performance Management Conference, May 2000.</i></p>	

LIPKE, Walt and Vaughn, Jeff, *Statistical Process Control Meets Earned Value*, CROSSTALK, June 2000.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

6. Relevância do Artigo

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

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 09

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Modern Project Management A New Forecasting Model to Ensure Project Success, Iman Attarzadeh, Ow Siew Hock, International Conference on Future Computer and Communication, 2009</i>
---	--

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

Esse artigo é idêntico ao 05, 09 e 19.

O artigo apresenta um aprimoramento da técnica de análise de valor agregado, que utiliza dados históricos de outros projetos. Os resultados são obtidos através da simulação de 10 projetos e não através da utilização em projetos reais.

O autor não detalha como o “aprimoramento” é gerado.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Melhorar a previsibilidade do EVM.

2.3 Escopo da revisão de literatura

O Autor afirma que é necessária a realização de mais pesquisas sobre o EVM.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

O autor simplesmente destaca que a proposta utiliza dados históricos de projetos anteriores, mas não mostra com sua técnica os utiliza. Portanto, não é possível detalhar a proposta do autor.

4. Referências Relevantes

F. Anbari. "Earned value project management method and extensions", Project Management Journal vol.34, no.4,12-23 2003.

S. Vandevoorde, M. Vanhoucke. "A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics", International Journal of Project Management vol.24, no.4, 289–302, 2006

D. F. Cioffi, "A tool for managing projects: an analytic parameterization of the S-curve", International Journal of Project Management, vol.23, no.3, 215–222, 2005

Christensen, D. S., & Templin, C. EAC Evaluation Methods: Do They Still Work? Acquisition Review Quarterly, Project Management Journal 2002, 105-116.

H. Iranmanesh, N. Mojir, S. Kimiagari A new formula to "Estimate At Completion" of a Project's time to improve "Earned value management system" International Journal of Project Management, 2007.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

O artigo fala mto pouco sobre a melhoria na técnica. Por isso foi mal avaliado.

6. Relevância do Artigo

1	X	3	4	5
Pouco Relevante			Excelente	
Artigo 10				
ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS				
1. Dados de identificação				
REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Cost Performance Index Stability, David S. Christensen Scott R. Heise, National Contract Management Journal, 25:7-15 (1993)</i>			
2. Dados derivados das características de interesse declaradas no objetivo de estudo				
2.1 Geral – Resumo da publicação				
<p>O artigo apresenta a avaliação da estabilidade do indicador de desempenho de custo CPI, para um conjunto de 7 programas de construção de aviões para o departamento de defesa americano, foram avaliados um total de 155, os quais foram, posteriormente classificados por tipo de contrato (FP – <i>Fixed Price</i>, CP – <i>Cost Plus</i>, entre outros).</p> <p>O artigo concluiu que o CPI acumulado é estável após ser executado 20% do projeto, e que o CPI não acumulado não é estável.</p>				
2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo				
Avaliar a estabilidade do indicador de desempenho de custo.				
2.3 Escopo da revisão de literatura				
3. Estabilidade dos indicadores de desempenho de prazo (SPI) e custo (CPI)				

Os autores adotaram a seguinte metodologia para avaliação da estabilidade dos indicadores. Caso o indicador variasse dentro do limite de + ou – 10% sobre o planejado, a partir de 20% de execução do projeto, ele seria considerado estável.

Portanto, a hipótese de pesquisa foi:

H1 (CPI): $|\text{CPI}(\text{final}) - \text{CPI}(20\%)| < 0,10$

O autor considerou que os dados eram normais na realização do teste de hipótese. O teste verificou a hipótese 1 com intervalo de confiança de 95%.

3.1 Conclusão

Os autores concluíram que o CPI é estável com intervalo de confiança de 95%. Dos 155 projetos avaliados, 134 (86%) apresentaram estabilidade a partir de 20% de execução, 141 (91%) apresentaram estabilidade com 30% de execução e 150 (97%) apresentaram estabilidade com 40% de execução.

3.2 Justificativa

Não houve justificativa para o resultado encontrado.

3.3 Contexto

Um conjunto de 7 programas de construção de aviões para o departamento de defesa americano, com um total de 155 projetos. Não foi possível avaliar o nível de maturidade dos projetos utilizados.

4. Referências Relevantes

Heise, Capt. Scott R. A Review of Cost Performance Index Stability. Masters thesis, AFIT/GSM/LSY/91S-12. School of Systems and Logistics, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, Ohio, September 1991.

Payne, Maj. Kirk I. An Investigation of the Stability of the Cost Performance Index. Masters thesis, AFIT/GCA/LSY/90S-6. School of Systems and Logistics, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, Ohio, September 1990.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

Esse artigo foi o que propôs a generalização da estabilidade do indicador de desempenho de custo, e que até hoje é altamente questionável.

6. Relevância do Artigo

1	2	3	4	X
Pouco Relevante			Excelente	

Artigo 11

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Re-examination of Project Outcome Prediction using earned value management methods, Walt LIPKE, The Measurable News, 2005.</i>
---	---

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O projeto busca melhorar o resultado do EAC, propondo o que ele chama de IEAC, que é gerado através do SPI(t). Nesse artigo o autor propõe uma fórmula que tende a servir como estimativa de teto de custo para concluir projetos, quando o projeto apresenta um cronograma ruim, essa equação é dada por: $EAC = AC + (BAC - EV) / CPI * SPI$ -- Nesse caso o SPI ficará abaixo de 1 e conseqüentemente o valor do EAC será maior. E propõe uma equação para o calculo do EAC de base, que é dado pela equação $EAC = BAC / CPI$.

Entretanto, o autor questiona o fato do SPI não ser útil a partir de 60% de execução do projeto, pois ele tende a 1, e o autor sugere o uso do SPI(t) para resolver esse problema.

O autor concluí através de cálculos estatísticos que o CPI só é estável em grandes projetos, a partir de 6,7 anos e que para projetos pequenos a utilização do EVM tem certas limitações.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Mostrar melhorias no EAC, através do uso do SPI(t). E mostrar que o CPI só é estável com grandes projetos, maiores que 6,7 anos.

3. Estabilidade dos indicadores de desempenho de prazo (SPI) e custo (CPI)

3.1 Conclusão

O autor questiona o fato do SPI não ser útil a partir de 60% de execução do projeto, pois ele tende a 1, e o autor sugere o uso do SPI(t) para resolver esse problema.

O autor conclui através de cálculos estatísticos que o CPI só é estável em grandes projetos, a partir de 6,7 anos e que para projetos pequenos a utilização do EVM tem certas limitações.

3.2 Justificativa

A justificativa para o CPI ficar estável a partir de 6,7 anos é dada por uma simulação estatística que mostra um gráfico com 3 linhas, cada uma representando um projeto distinto, no eixo X temos a variação do indicador CPI variando de 0,8 a 1,2, dentro de um intervalo de meses que varia de 8 a 72 meses. O autor conclui que projetos maiores tendem a acomodar mudanças maiores nos indicadores, de modo que ele ficará estável a partir de 20% de execução, o que normalmente ocorre quando um projeto tem cerca de 20 meses.

3.3 Contexto

Não foi utilizado nenhum contexto para a simulação realizada. O autor só concluiu que em projetos grandes o CPI é estável e que em projetos menores, de até 1 ano, ele não é estável.

4. Referências Relevantes

Christensen, David S. "The Estimate at Completion Problem: A Review of Three Studies." *Project Management Journal*, Vol 24 (March 1993): 37-42.

Christensen, D. S., R. C. Antolini, J. W. McKinney. "A Review of Estimate at Completion Research," *Journal of Cost Analysis and Management*, Spring 1995: 41-62.

Christensen, D. S., S. R. Heise. "Cost Performance Index Stability," *National Contract Management Journal*, Vol 25 (1993): 7-15.

Christensen, D. S., C. Templin. "EAC Evaluation Methods: Do They Still Work?," *Acquisition Review Quarterly*, Spring 2002: 105-116.

Christensen, D. S., D. A. Rees. "Is the CPI-Based EAC A Lower Bound to the Final Cost of Post A-12 Contracts?," *Journal of Cost Analysis and Management*, Winter 2002: 55-65.

LIPKE, Walt. "A Study of the Normality of Earned Value Indicators." *The Measurable News*, December 2002: 1-16.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

6. Relevância do Artigo

1	2	3	4	X
---	---	---	---	---

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 12

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Independent Estimates at Completion - Another Method</i> , <i>CrossTalk</i> , Walt LIPKE, pgs 26 – 31, October 2004 .
---------------------------------------	--

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O autor propõe uma melhoria do EAC, que ele chama de IEAC. Essa melhoria envolve o cálculo do CPI através do uso de uma regressão linear de dados históricos recentes de um período determinado do projeto.

A equação proposta é essa: $\ln \text{CPI} = A + B * (X \wedge 3)$, onde A e B são parâmetros desconhecidos e X é o percentual de completude do projeto.

Essa equação é proposta com a premissa de que o projeto atinge estabilidade no indicador de desempenho de custo quando está com 20% de execução.

E essa equação se transforma nessa:
$$\begin{aligned} A_{\text{con}} &= \ln(\text{CPI}_{2n} + 0.1) - B_{\text{max}} \\ B_{\text{con}} &= \ln(\text{CPI}_{2n} - 0.1) - A_{\text{min}} \end{aligned}$$
, onde Acon e Bcon são as restrições dos valores de A e B. Amin e Bmax são os valores mínimos e máximos de A e B respectivamente. E os valores de CPI_{2n} são os valores do CPI após concluir 20% de execução.

Aparentemente a técnica não foi utilizada em projetos reais. O autor sugere sua utilização em projetos do DoD.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Melhoria da previsibilidade do EAC.

3. Estabilidade dos indicadores de desempenho de prazo (SPI) e custo (CPI)

O autor não faz nenhum estudo sobre a previsibilidade dos indicadores. Mas parte da premissa que o CPI é estável.

4. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

4.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

O autor propõe uma melhoria do EAC, que ele chama de IEAC. Essa melhoria envolve o cálculo do CPI através do uso de uma regressão linear de dados históricos recentes de um período determinado do projeto.

$$\ln \text{CPI} = A + B * (X ^3)$$

A equação proposta é essa: $\ln \text{CPI} = A + B * (X ^3)$, onde A e B são parâmetros desconhecidos e X é o percentual de completude do projeto.

Essa equação é proposta com a premissa de que o projeto atinge estabilidade no indicador de desempenho de custo quando está com 20% de execução.

$$\begin{aligned} A_{\text{con}} &= \ln(\text{CPI}_{2n} + 0.1) - B_{\text{max}} \\ B_{\text{con}} &= \ln(\text{CPI}_{2n} - 0.1) - A_{\text{min}} \end{aligned}$$

E essa equação se transforma nessa: $A_{\text{con}} = \ln(\text{CPI}_{2n} + 0.1) - B_{\text{max}}$ e $B_{\text{con}} = \ln(\text{CPI}_{2n} - 0.1) - A_{\text{min}}$, onde Acon e Bcon são as restrições dos valores de A e B. Amin e Bmax são os valores mínimos e máximos de A e B respectivamente. E os valores de CPI_{2n} são os valores do CPI após concluir 20% de execução.

Aparentemente a técnica não foi utilizada em projetos reais. O autor sugere sua utilização em projetos do DoD.

Aparentemente o autor não aplicou a abordagem em projetos reais.

5. Referências Relevantes

Christensen, D.S. "The Estimate at Completion Problem: A Review of Three Studies." Project Management Journal Vol. 24 (Mar. 1993): 37-42.

Christensen, D.S., and C. Templin. "EAC Evaluation Methods: Do They Still Work?" Acquisition Review Quarterly Spring 2002: 105-116.

Christensen, D.S., and D.A. Rees. "Is the CPI-Based EAC a Lower Bound to the Final Cost of Post A-12 Contracts?" *Journal of Cost Analysis and Management* Winter 2002: 55-65.

6. Comentários adicionais do pesquisador.

Apesar do autor não ter aplicado a abordagem em projetos reais (pois ele sugere sua aplicação em projetos do DoD), aparentemente é uma técnica que pode trazer melhoria na previsibilidade do EAC.

Essa técnica é a que ficou mais próxima da que eu pretendo propor.

7. Relevância do Artigo

1	2	3	4	X
Pouco Relevante			Excelente	

Artigo 13

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Implementation and Evaluation of EVI to Achieve an Accurate Project Time and Cost Estimation and Improve EVMS, Iman Attarzadeh, Ow Siew Hock, 2009 International Conference on Information Management and Engineering</i>
---------------------------------------	--

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

Esse artigo é idêntico ao 05, 09 e 19.

O artigo apresenta um aprimoramento da técnica de análise de valor agregado, que utiliza dados históricos de outros projetos. Os resultados são obtidos através da simulação de 10 projetos e não através da utilização em projetos reais.

O autor não detalha como o “aprimoramento” é gerado.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Melhorar a previsibilidade do EVM.

2.3 Escopo da revisão de literatura

O Autor afirma que é necessária a realização de mais pesquisas sobre o EVM.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

O autor simplesmente destaca que a proposta utiliza dados históricos de projetos anteriores, mas não mostra com sua técnica os utiliza. Portanto, não é possível detalhar a proposta do autor.

4. Referências Relevantes

F. Anbari. "Earned value project management method and extensions", Project Management Journal vol.34, no.4,12-23 2003.

S. Vandevorde, M. Vanhoucke. "A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics", International Journal of Project Management vol.24, no.4, 289–302, 2006

D. F. Cioffi, "A tool for managing projects: an analytic parameterization of the S-curve", International Journal of Project Management, vol.23, no.3, 215–222, 2005

Christensen, D. S., & Templin, C. EAC Evaluation Methods: Do They Still Work? Acquisition Review Quarterly, Project Management Journal 2002, 105-116.

H. Iranmanesh, N. Mojir, S. Kimiagari A new formula to “Estimate At Completion” of a Project's time to improve “Earned value management system” International Journal of Project Management, 2007.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

O artigo fala mto pouco sobre a melhoria na técnica. Por isso foi mal avaliado.

6. Relevância do Artigo

1	X	3	4	5
----------	----------	----------	----------	----------

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 14

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Statistical Process Control of Project Performance, Walt LIPKE, CrossTalk, March 2002, Vol 15, No. 3, pgs 15 – 18.</i>
---------------------------------------	---

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O autor mostra que os dados derivados do CPI e SPI não possuem distribuição normal, principalmente pelo fato de representarem a divisão de 2 valores positivos e o valor de ambos nunca chegarão a 0, por exemplo.

O autor exhibe gráficos do SPI e SPI⁻¹ mostrando que o comportamento deles é diferente, sendo que em um deles um dos pontos representa um sinal e no outro gráfico isso não ocorre (o que não deveria acontecer), como mostram as figuras 1 e 2.

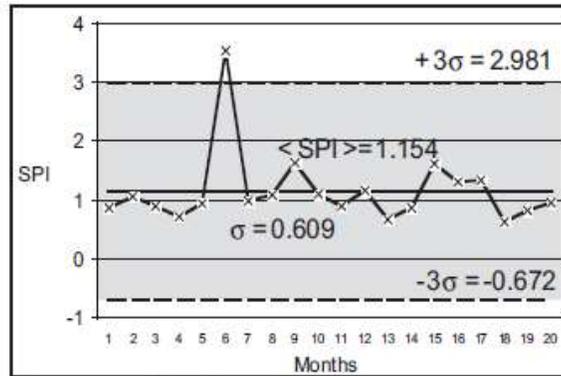


Figure 1: *SPI Control Chart*

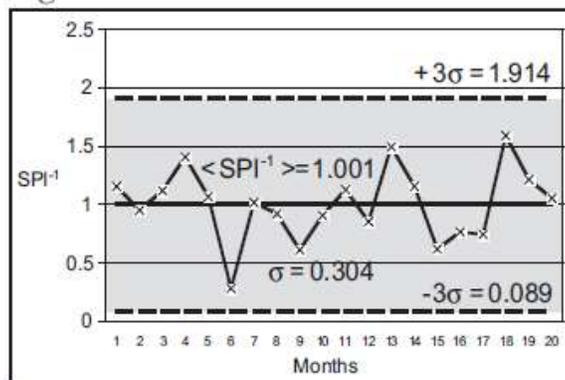


Figure 2: *SPI' Control Chart*

A solução proposta pelo autor é a transformação dos dados para a base logarítmica, através da aplicação do logaritmo natural do valor. Os novos gráficos de controle são exibidos, após a transformação de suas bases, nas figuras 5 e 6. Nessas figuras é possível observar um comportamento igual entre eles.

Figure 5: $\ln(\text{SPI})$ Control Chart

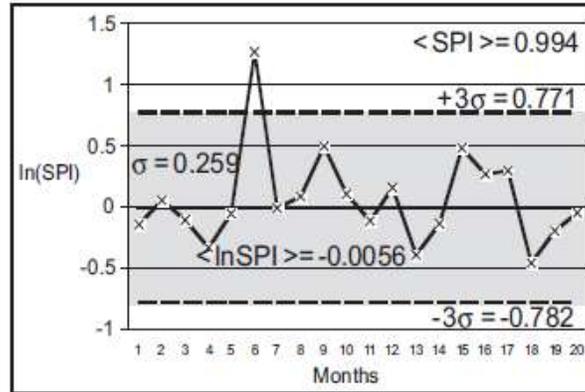
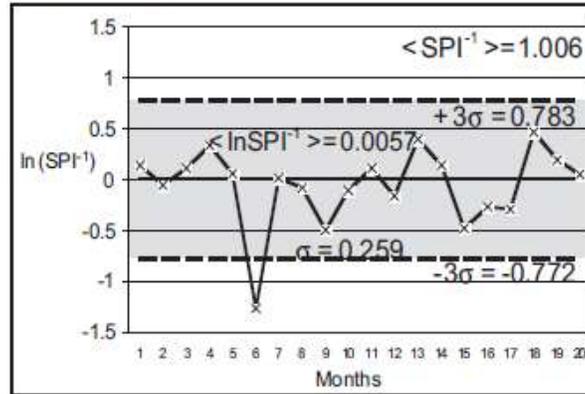


Figure 6: $\ln(\text{SPI}^{-1})$ Control Chart



As figuras 4 e 7 mostram um histograma com a distribuição dos valores do CPI e CPI^{-1} , antes e depois da mudança da base dos dados. É possível observar nessas figuras que os dados passaram a ter uma distribuição mais normalizada.

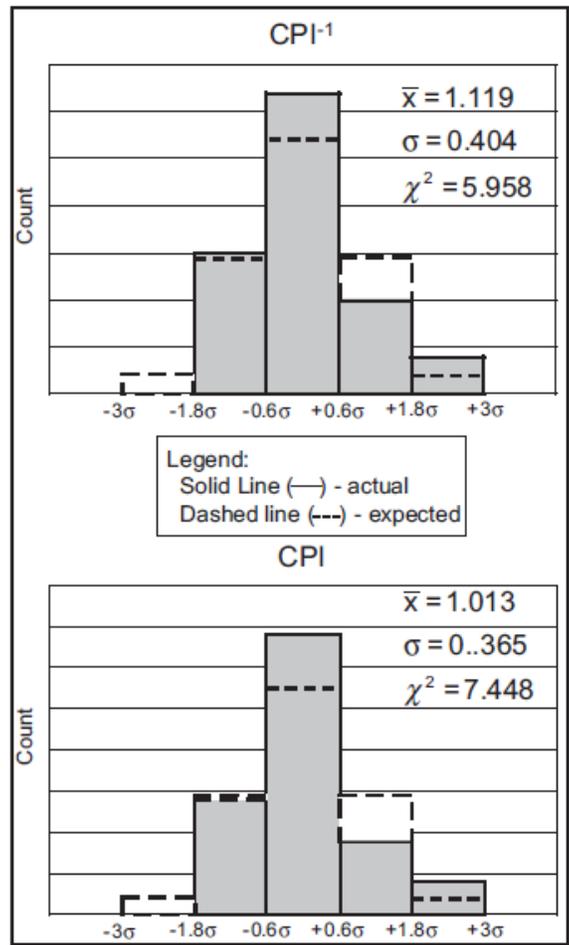


Figure 4: Histograms – CPI and CPI¹

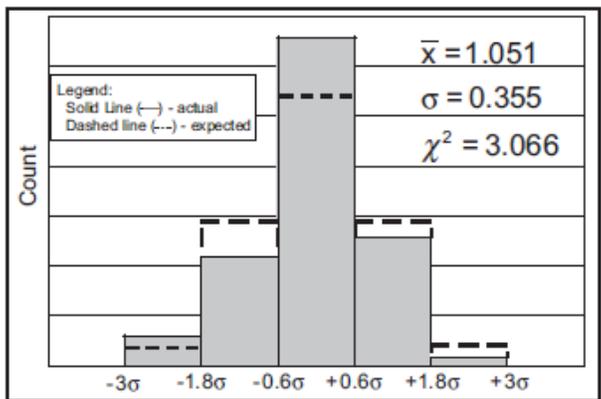


Figure 7: Histogram – InCPI¹

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Transformar dados não normalizados de CPI e SPI em dados normalizados.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

Não há proposta de evolução da técnica, mas há uma proposta de transformação dos dados para melhorar a previsibilidade dos dados, utilizando gráfico de controle.

4. Referências Relevantes

LIPKE, Walt, and Jeff Vaughn, eds. "Statistical Process Control Meets Earned Value." CrossTalk June 2000: 16-20.

LIPKE, Walt, and Mike Jennings, eds. "Software Project Planning, Statistics, and Earned Value." CrossTalk Dec. 2000: 10-14.

Florac, William A., and Anita D. Carleton, eds. Measuring the Software Process. Reading, Mass.: Addison- Wesley, 1999.

Pitt, Hy. SPC for the Rest of Us. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1995. 6. Wheeler, Donald J. Understanding Variation, The Key to Managing Chaos. Knoxville, Tenn.: SPC Press, 2000.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

Artigo idêntico ao 24!!!

6. Relevância do Artigo

1	2	3	4	X
----------	----------	----------	----------	----------

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 15

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics, Stephan Vandevorde, Mario Vanhoucke, 2006, International Journal of Project Management</i>
---	--

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo compara três propostas de autores diferentes para prever a duração dos projetos. Primeiramente o artigo descreve a metodologia tradicional, depois descreve o ES, e finalmente uma terceira variação da técnica proposta por Anbari. Em seguida são utilizados dados de um projeto real para ilustrar e comparar as técnicas. A conclusão do artigo é que a técnica ES é mais precisa para prazo.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Comparar diversas extensões da técnica de análise de valor, que fornecem melhor previsão de prazo.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

Não há proposta de evolução da técnica, o artigo apenas avalia duas propostas de evolução.

4. Referências Relevantes

Anbari F. Earned value method and extensions. Project Manage J 2003;34(4):12–23.

Fleming Q, Koppelman J. Earned value project management Newtowns Square. PA: PMI; 2000.

LIPKE W. Schedule is different. The Measurable News 2003(March): 31–4.

Christensen DS. The estimate at completion problem: a review of three studies. Project Manage J 1993;24:37–42.

Jacob D. Forecasting project schedule completion with earned value metrics. The Measurable News 2003(March):1. 7–9.

Henderson K. Earned schedule: a breakthrough extension to earned value theory? A retrospective analysis of real project data. The Measurable News 2003(Summer):13–7. 21.

Jacob DS, Kane M. Forecasting schedule completion using earned value metrics revisited. The Measurable News 2004(Summer):1. 11–7.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

O artigo é de um periódico relevante da área, e a maneira como ele foi estruturado e redigido é bem interessante. Acho que posso escrever um igual com os resultados da minha técnica.

6. Relevância do Artigo

1	2	3	4	X
----------	----------	----------	----------	----------

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 16

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Earned Value Project Management Method and Extensions, Frank T. Anbari, Project Management Journal, 2003, pgs 12 – 23.</i>
---	---

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo descreve as diversas extensões existentes da técnica de análise de valor agregado, que estão disponíveis para calcular o prazo final do projeto, tendo em vista diversos cenários, tais como: i) o projeto encontra-se atrasado, e o indicador de desempenho reflete o que a equipe de projeto espera para o futuro do projeto, ii) o projeto encontra-se atrasado. Entretanto, o indicador de desempenho não reflete o que a equipe de projeto espera para o futuro do projeto, iii) O projeto apresenta problemas irreversíveis de qualidade (a solução dada é reprojeter), iv) Os problemas de custo e de prazo são bons indicadores do desempenho futuro do projeto.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Mostrar quando utilizar cada extensão disponível da técnica, dado o cenário no qual o projeto se encontra.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

Não há.

4. Referências Relevantes

Christensen, David S. "The Estimate at Completion Problem: A Review of Three Studies." Project Management Journal, Vol 24 (March 1993): 37-42.

Christensen, D. S., R. C. Antolini, J. W. McKinney. "A Review of Estimate at Completion Research," Journal of Cost Analysis and Management, Spring 1995: 41-62.

Christensen, D. S., S. R. Heise. "Cost Performance Index Stability," National Contract Management Journal, Vol 25 (1993): 7-15.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

Pode ser interessante acrescentar na tese quando utilizar cada técnica, com base nos cenários específicos de cada projeto.

6. Relevância do Artigo

1	2	3	X	5
---	---	---	---	---

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 17

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA	<i>Project Duration Forecasting Comparing Earned Value</i>
COMPLETA	<i>Management Methods to Earned Schedule, CrossTalk, Walt</i>
DO ARTIGO:	LIPKE, pgs 10 – 15, December, 2008

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo apresenta 3 métodos de previsão de prazo e os compara com o *Earned Schedule* (que é apresentado com maior ênfase que as demais técnicas). As técnicas foram testadas em 16 projetos reais (não são descritos os contextos dos projetos, áreas ou quaisquer informações sobre eles), quando os projetos estavam com 10%, 25%, 50% e 75% de andamento. Para cada momento e técnica distintos foram realizados testes de hipótese a 95% de nível de significância.

O autor conclui que a técnica ES é uma técnica superior para prever o prazo dos projetos.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Comparar 3 técnicas de projeção de prazo com o ES.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

O autor apresenta o ES (descrito no resumo 18).

4. Referências Relevantes

LIPKE, Walt. "Schedule Is Different." The Measurable News. Summer 2003: 31-34.

Henderson, Kym. "Further Developments in Earned Schedule." The Measurable News. Spring 2004: 15-22.

Hecht, Lew. "A Case Study of Earned Schedule to Do Predictions." The Measurable News. Winter 2007-2008: 16-18.

Vanhoucke, Mario, and Stephan Vandevoorde. "A Simulation and Evaluation of Earned Value Metrics to Forecast Project Duration." Journal of the Operations Research Society. Oct. 2007, Vol. 58: 1361-1374.

Vanhoucke, Mario, and Stephan Vandevoorde. "Measuring the Accuracy of Earned Value/Earned Schedule Forecasting Predictors." The Measurable News. Winter 2007-2008: 26-30.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

A tese deverá seguir o mesmo exemplo de validação da técnica ES. Além da validação ter sido feita por estágios (25%, 50% e 75%), o autor ainda rodou vários testes de hipótese (é necessário estudar como funciona um teste de hipótese).

6. Relevância do Artigo

1	2	3	X	5
---	---	---	---	---

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 18

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Earned Schedule An Emerging Enhancement to Earned Value Management, Crosstalk, Walt LIPKE, pgs 26 – 30, November, 2006</i>
---	---

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

Esse artigo apresenta a ideia do ES. O ES – *Earned Schedule* é análogo à análise de valor agregado. Entretanto, em vez de utilizar custo para medir o desempenho do cronograma, usa-se o tempo. O *Earned Schedule* é determinado comparando-se o valor agregado (VA) pela linha base, ou valor planejado (VP). O tempo associado com o valor agregado (VA), denominado como *Earned Schedule* (ES), é encontrado pela “curva S” do valor agregado (VA) projetado sobre o valor planejado (VP), conforme ilustra a Figura 01. O conceito do *Earned Schedule* é justificado pelo fato dos indicadores de desempenho terem um comportamento apropriado em todo o período do projeto (LIPKE, 2003).

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Propor uma extensão da técnica de análise de valor agregado, que resolva o problema da convergência do SPI tradicional.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

Esse artigo apresenta a ideia do ES. O ES – *Earned Schedule* é análogo à análise de valor agregado. Entretanto, em vez de utilizar custo para medir o desempenho do cronograma, usa-se o tempo. O *Earned Schedule* é determinado comparando-se o valor agregado (VA) pela linha base, ou valor planejado (VP). O tempo associado com o valor agregado (VA), denominado como *Earned Schedule* (ES), é encontrado pela “curva S” do valor agregado (VA) projetado sobre o valor planejado (VP), conforme ilustra a Figura 01. O conceito do *Earned Schedule* é justificado pelo fato dos indicadores de desempenho terem um comportamento apropriado em todo o período do projeto (LIPKE, 2003).

O valor acumulativo de ES é encontrado usando o valor agregado (VA) para identificar em qual incremento de tempo o valor planejado (VP) de custo ocorre. O valor de ES é igual ao tempo acumulado do início do incremento (exemplo, meses, dias) mais sua fração. A fração é igual à porção do valor agregado (VA) estendido para o incremento de tempo incompleto e dividido pelo valor planejado para o mesmo período de tempo. Usando ES, os indicadores de tempo possuirão um comportamento análogo ao dos indicadores de custo (LIPKE, 2009).

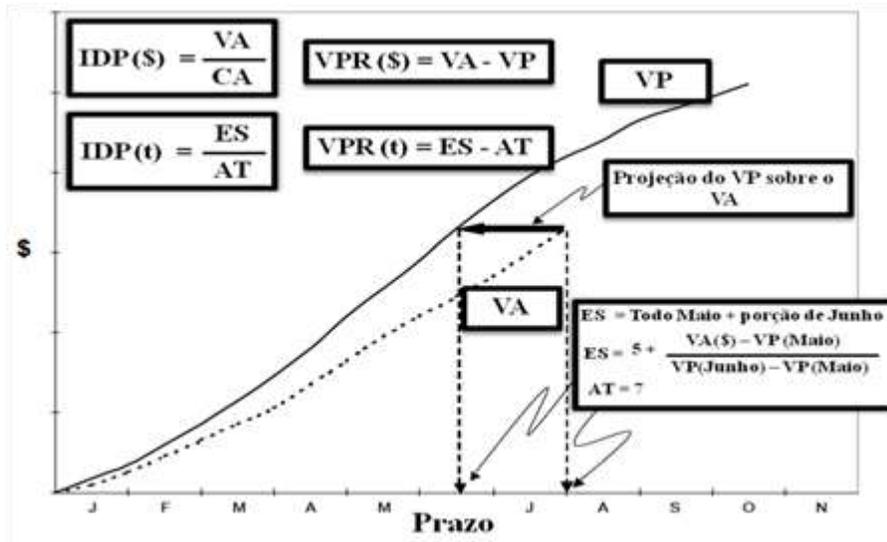


Figura 01 – ES sendo encontrado através da projeção do valor planejado – VP sobre o valor agregado – VA. Fonte: (LIPKE, 2003)

A seguir serão apresentadas as equações que descrevem ES:

- *Schedule Variance* ($SV(t)$) ou Variação de Prazo ($VPR(t) = ES - AT$);
- *Schedule Performance Index* ($SPI(t)$) ou Índice de Desempenho de Prazo ($IDP(t) = ES / AT$);

onde AT é o tempo atual e é medido pelo número de períodos de tempo decorridos desde o início do projeto até a data analisada.

A variação de prazo ($VPR(t)$), é positiva quando o *Earned Schedule* – ES é maior que o *actual time* (AT), e negativa quando ocorrer o contrário. Já o indicador de desempenho de prazo ($IDP(t)$) é maior que 1.0 quando ES é maior que AT, e menor que 1 quando ES é menor que AT (LIPKE, 2004a).

Os indicadores propostos são análogos aos indicadores utilizados na análise de valor agregado para gerenciamento de custos, ou seja, a variação de cronograma (VC) e o indicador de desempenho de custo (IDC). A proposta de (WALT LIPKE, 2006) resolve os problemas da convergência do SPI tradicional.

Na Figura 2 é possível notar que a variação de prazo (VPR(\$)) com unidade de custo move-se para zero, quando o projeto fica próximo do fim, ainda que ele se mantenha atrasado, e que a variação de prazo (VPR(t)) com unidade de tempo mantém a tendência apresentada durante todo o projeto. Na Figura 3 é possível notar que o indicador de desempenho de cronograma (IDP(\$)) com unidade de custo move-se para um, quando o projeto fica próximo do fim, ainda que ele esteja atrasado, e que o indicador de desempenho de cronograma (IDP(t)) com unidade de tempo mantém a tendência apresentada durante todo o projeto.

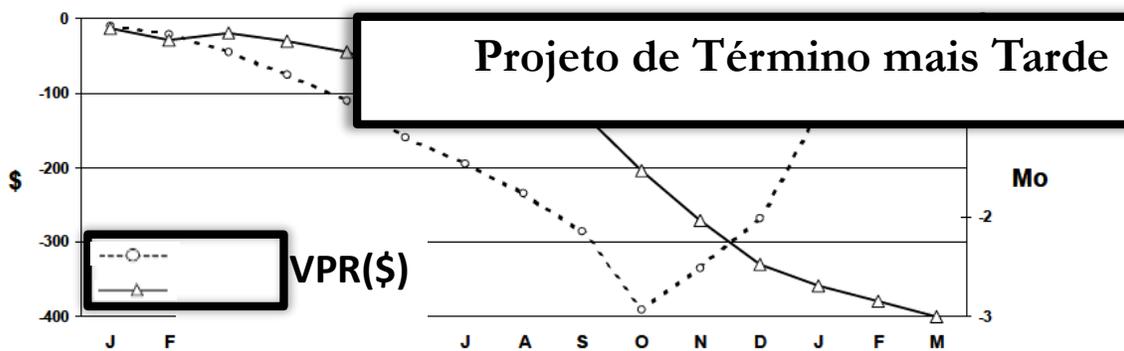


Figura 2 – Comparação entre a variação de prazo, utilizando unidade de custo e de tempo, VPR(\$) e VPR (t), respectivamente. Fonte (LIPKE, 2003)

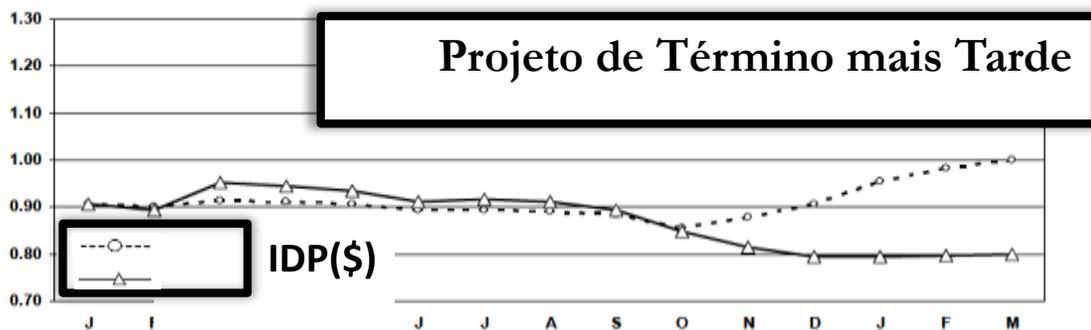


Figura 3 – Comparação entre os indicadores de desempenho de prazo, utilizando unidade de custo e de tempo, IDP(\$) e IDP(t), respectivamente. Fonte (LIPKE, 2003)

Segundo (LIPKE, 2004b), o desenvolvimento do Earned Schedule, permitiu a melhoria do indicador de desempenho de prazo (IDP(t)), resultando no desenvolvimento de novas equações para previsão do prazo de finalização dos projetos.

4. Referências Relevantes

Project Management Institute. Practice Standard for EVM. PMI, 2004.

LIPKE, Walt. "Schedule Is Different." The Measurable News Mar. 2003: 10-15.

Henderson, Kym. "Earned Schedule: A Breakthrough Extension to Earned Value Theory? A Retrospective Analysis of Real Project Data." The Measurable News Summer 2003: 13-23.

Henderson, Kym. "Further Developments in Earned Schedule." The Measurable News Spring 2004: 15-22.

Anbari, Frank T. "Earned Value Project Management Method and Extensions." Project Management Journal 34.4 (Dec. 2003): 12-23.

LIPKE, Walt. "Connecting Earned Value to the Schedule." Cross-Talk June 2005 <www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/2005/06/0506LIPKE.html>.

Henderson, Kym. "Earned Schedule in Action." The Measurable News Spring 2005: 23-30.

Vanhoucke, Mario, and Stephan Vandevoorde. "A Comparison of Different Project Duration Forecasting Methods Using Earned Value Metrics." International Journal of Project Management 24.4 (May 2006): 289-302.

Vanhoucke, Mario, and Stephan Vandevoorde. "Measuring the Accuracy of Earned Value/Earned Schedule Forecasting Predictors." The Measurable News. Winter 2007-2008: 26-30.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

A tese deverá seguir o mesmo exemplo de validação da técnica ES. Além da validação ter sido feita por estágios (25%, 50% e 75%), o autor ainda rodou vários testes de hipótese (é necessário estudar como funciona um teste de hipótese).

6. Relevância do Artigo

1	2	3	4	X
----------	----------	----------	----------	----------

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 19

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>A New Forecasting Model to Improve Earned Value Index to Achieve an Accurate Project Time and Cost Estimation, Iman Attarzadeh, Ow Siew Hock, Conference on Information Management and Engineering, 2009</i>
---	---

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo apresenta um aprimoramento da técnica de análise de valor agregado, que utiliza dados históricos de outros projetos. Os resultados são obtidos através da simulação de 10 projetos e não através da utilização em projetos reais.

O autor não detalha como o “aprimoramento” é gerado.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Melhorar a previsibilidade do EVM.

2.3 Escopo da revisão de literatura

O Autor afirma que é necessária a realização de mais pesquisas sobre o EVM.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

O autor simplesmente destaca que a proposta utiliza dados históricos de projetos anteriores, mas não mostra com sua técnica os utiliza. Portanto, não é possível detalhar a proposta do autor.

4. Referências Relevantes

F. Anbari. "Earned value project management method and extensions", Project Management Journal vol.34, no.4,12-23 2003.

S. Vandevoorde, M. Vanhoucke. "A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics", International Journal of Project Management vol.24, no.4, 289–302, 2006

D. F. Cioffi, "A tool for managing projects: an analytic parameterization of the S-curve", International Journal of Project Management, vol.23, no.3, 215–222, 2005

Christensen, D. S., & Templin, C. EAC Evaluation Methods: Do They Still Work? Acquisition Review Quarterly, Project Management Journal 2002, 105-116.

H. Iranmanesh, N. Mojir, S. Kimiagari A new formula to "Estimate At Completion" of a Project's time to improve "Earned value management system" International Journal of Project Management, 2007.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

O artigo fala mto pouco sobre a melhoria na técnica. Por isso foi mal avaliado.

6. Relevância do Artigo

1	2	3	4	X
Pouco Relevante			Excelente	

Artigo 20

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Team performance and information system implementation: Application of the progress curve to the earned value method in an information system project, Springer Science Bussiness Media, Malgorzata Plaza, pgs 347 – 359, April, 2008</i>
---	--

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo propõe uma metodologia para integrar o EVM com curvas de aprendizado, e posteriormente ilustra como aplicá-lo em um projeto real.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

A proposta de evolução da técnica utilizando curvas de aprendizado é super complexa e utiliza diversas equações com integrais duplas, integrais de logaritmos naturais, entre outras. As equações estão todas detalhadas nos anexos do artigo. Sua utilização é complexa se não houver algum tipo de ferramental de apoio (a técnica não foi detalhada aqui devido ao trabalho para editar equações com integrais na ferramenta MS Word).

4. Referências Relevantes

Grande parte dos artigos eram sobre curva de aprendizado. Não achei nenhum relevante para esse estudo.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

A proposta é muito complexa e de difícil entendimento. Não há nenhum estudo da relação custo benefício da técnica, mas é improvável que justifique o esforço da técnica.

7. Relevância do Artigo

1	X	3	4	5
---	---	---	---	---

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 21

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Monitoring software projects with earned value analysis and use case point, Jinhua Li, Zhibing Ma, Huanzhen Dong, International Conference on Computer and Information Science, 2008, pgs 475-480.</i>
---	---

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O autor relata as dificuldades de aplicar a técnica de análise de valor agregado a área de software, que segundo ele são: i) a dificuldade de expressar a linha base e medir o progresso técnico do projeto, e ii) pelo fato da WBS convencional não refletir características do software e das mudanças que ocorrem nele.

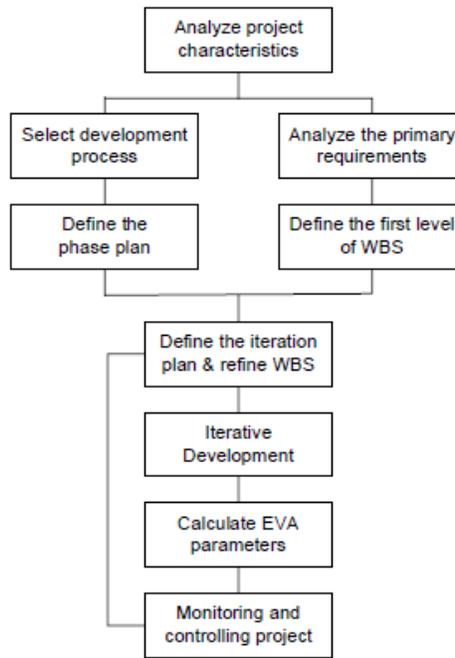
Posteriormente o autor propõe uma WBS mais voltada ao processo de desenvolvimento de software e discute a possibilidade de utilizar UCP como *baseline* e para fins de acompanhamento do projeto. Ele propõe também a mudança de diversas medidas da técnica, trocando custo e prazo medidos em R\$ (custo) e em horas ou dias (prazo) para UCP.

A técnica é testada em um projeto piloto que foi executado por 3 estudantes.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

O autor propõe um framework de monitoramento e controle dos projetos, conforme ilustra a figura 1.



E a partir desse framework desenvolve uma WBS baseada no processo do projeto (o que é mais que o esperado p/ qualquer projeto de software!!).

Com base nessa WBS o autor propõe a mudança da baseline do projeto de custo para pontos de caso de uso, e propõe também a mudança de algumas medidas básicas do EVM, como segue:

<i>Term</i>	<i>Traditional EVA</i>	<i>UCP based EVA</i>
Performance Baseline	The sum of all work package schedule estimates (duration and effort).	Total number of UCP for software a system.
Budget At Complete (BAC)	The planned budget for the project	The converted money value of planned UCP.
Planned Percent Complete (PPC)	The money value of the cumulative tasks to be complete by this time divided by the performance baseline.	The number of UCP multiplied by the percent assigned to the of software project tasks, an example is proposed by Royce[8]
Actual Percent Complete (APC)	The money value of work packages actually completed divided by total dollar value of the budget at complete	The total number of UCP completed divided by the total number UCP planned

<i>Equation</i>	<i>Definition</i>	
$PV = PPC * BAC$	Planned Value	(1)
$EV = APC * BAC$	Earned Value	(2)
$CV = EV - AC$	Cost Variance	(3)
$SV = EV - PV$	Schedule Variance	(4)
$CPI = EV / AC$	Cost Performance Index	(5)
$ETC = 1/CPI *(BAC - EV)$	Estimate To Complete	(6)
$EAC = AC + ETC$	Estimate At Complete	(7)

4. Referências Relevantes

Brownsword L., J. Smith. *Using Earned Value Management (EVM) in Spiral Development. Technical Note, CMU/SEI-2005-TN-016. Pittsburgh, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 2005.*

Sulaiman T., Barton B., T.Blackburn. *Agile EVM Earned Value Management in Scrum Projects. (Maurer. F. Eds.) Proc. of Agile 2006, July 23-28, Minneapolis, Minnesota, IEEE Computer Society, pp: 7-16.*

5. Comentários adicionais do pesquisador.

Ainda que a proposta do autor tenha sido descrita na seção reservada para melhorias na técnica, deste documento. Não vejo na mudança proposta pelo autor, melhorias no monitoramento e controle da técnica. A princípio o que o autor fez foi aumentar a granularidade do monitoramento e controle dos projetos (o que não é bom!!), ao propor a utilização da técnica utilizando UCP ao invés de custo (R\$) ou prazo (em horas ou dias).

6. Relevância do Artigo

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

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 22

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Variance analysis in earned value measurements when large uncertainties exist in underlying estimates, Arnold M. Ruskin, Aerospace Conference, 2005, pgs 4339 - 4342</i>
---	---

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo propõe uma abordagem para utilização da análise de valor agregado em projetos nos quais existe grande incerteza, tais como desenvolvimento de software, projetos de pesquisa tecnológica, entre outros.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

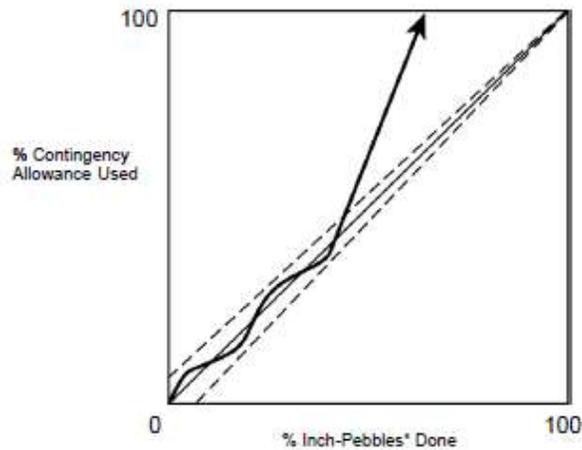
3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

O artigo propõe uma abordagem para utilização da análise de valor agregado em projetos nos quais existe grande incerteza, tais como desenvolvimento de software, projetos de pesquisa tecnológica, entre outros.

Para esses casos o autor propõe a utilização de um orçamento que está dentro de uma faixa específica, por exemplo, entre R\$ 3.000,00 e R\$ 8.000,00 e sugere que o acompanhamento do projeto seja feito, utilizando-se o EVM, mas que, entretanto, seja considerada a variação do indicador em relação a essa faixa.

O autor sugere a utilização da análise de monte Carlo para calcular a probabilidade de finalizar o projeto dentro de um determinado custo + contingência. E sugere que ao invés de utilizar um custo orçado, trabalhemos com um custo esperado, onde o custo esperado corresponderá ao custo do projeto, quando a probabilidade de sucesso for de 50%, segundo a análise de monte carlo. Dessa maneira a análise da variação será realizada avaliando o consumo da reserva de contingência, conforme ilustra a figura 1.

Não há validação da proposta em projetos.



* The inch-pebble is a small unit of the milestone.
 Percent inch-pebbles done is a measure of work done.

Percent contingency allowance used
 versus percent work done.

Figura 01 – Consumo da reserva de contingência.

4. Referências Relevantes

A. M. Ruskin, “Two Issues Concerning Earned Value Measurements,” *Engineering Management Journal*, XVI, No. 3 (September 2004) 26-30.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

Se houvesse um estudo de caso utilizando a proposta, ela ficaria mais clara.

6. Relevância do Artigo

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

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 23

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA COMPLETA DO ARTIGO:	<i>Practical experiences of cost schedule measure through Earned Value Management and Statistical Process Control, Qing Wang, Nan Jiang, Lang Gou, Meiru Che, Ronghui</i>
---	---

	Zhang, <i>International Conference on Software and System Process, 2006</i>
--	---

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

O artigo faz uma análise da aplicação da análise de valor agregado em 6 projetos de TI. A análise dos indicadores sugere uma distribuição normal e o autor sugere a utilização de SPC (*Statistical Process Control*) em conjunto com a técnica.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

Não há propostas de evolução da técnica

4. Referências Relevantes

W. A. Florac, A. D. C. (1999). *Measuring the Software Process: Statistical Process Control for Software Process Improvement*, Addison-.Wesley.

5. Comentários adicionais do pesquisador.

Nenhum.

6. Relevância do Artigo

1	X	3	4	5
---	---	---	---	---

Pouco Relevante

Excelente

Artigo 24

ROTEIRO PARA RESUMO DOS ARTIGOS

1. Dados de identificação

REFERÊNCIA	<i>Statistical Process Control Meets Earned Value, Crosstalk,</i>
COMPLETA	<i>Walt LIPKE, pgs 16 – 20 e 28, November, 2000</i>
DO ARTIGO:	

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

2.1 Geral – Resumo da publicação

Esse artigo faz um estudo da distribuição dos dados de projetos, para os indicadores de desempenho de custo (CPI) e de prazo (SPI) e concluí que sua distribuição é deslocada para a esquerda. Com base nessa conclusão o autor propõe uma alternativa de transformação dos dados, através da divisão do indicador por \ln (logaritmo natural), para que a distribuição se torne normal.

2.2 Objetivo – Descrição do objetivo do artigo

Avaliar a distribuição dos dados de projetos, especialmente dos indicadores CPI e SPI, e propor uma alternativa para normalização deles.

3. Dados derivados das características de interesse declaradas nas questões secundárias de pesquisa (quando aplicável):

3.1 Propostas de evolução da análise de valor agregado

Primeiramente, LIPKE (2002) mostrou que os dados derivados do CPI e SPI não possuem distribuição normal, principalmente pelo fato de representarem a divisão de 2 métricas positivas, sendo assim o valor deles nunca será negativo. No exemplo da figura 1, no histograma da direita, temos a média como 1,013 e o desvio padrão igual a 0,365. Neste exemplo, teríamos o limite superior igual a 2,108 e limite inferior igual a -0,082, sendo que é impossível termos CPI ou SPI negativos. Assim a distribuição do SPI e CPI são consideradas desviadas para direita, conforme ilustra a figura 1.

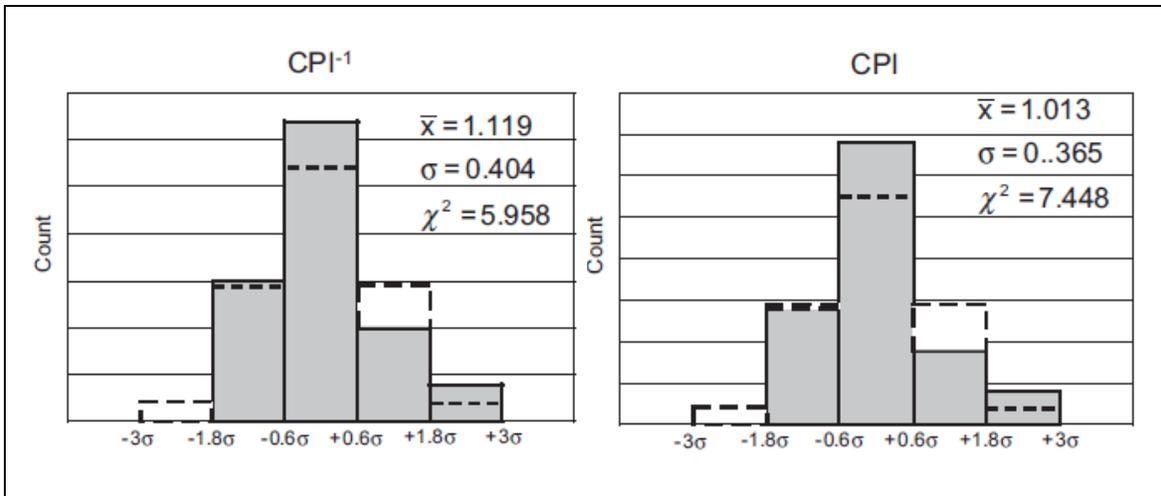


Figura 1 – Distribuição das observações do CPI e CPI⁻¹

Na figura 1, as linhas sólidas do histograma medem o CPI acumulado real, no decorrer do projeto, as linhas tracejadas representam os valores esperados, caso a distribuição fosse normal.

LIPKE (2002), mostra ainda outra inconsistência nos dados, decorrentes deste problema. Ao exibir os dados do SPI e SPI⁻¹ num gráfico de controle, o SPI demonstra um comportamento diferente do SPI⁻¹, o que não deveria ocorrer. No gráfico de controle do SPI um dos pontos representa um sinal, que deve ser investigado, e no gráfico SPI⁻¹ isso não ocorre, conforme mostra a figuras 2.

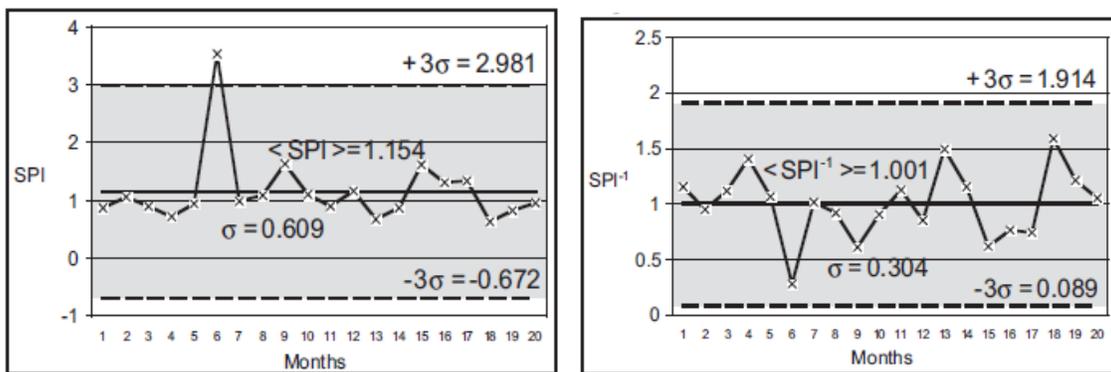


Figura 2 – Gráfico de controle de e SPI⁻¹ com dados na base decimal

A solução dada para este problema consistiu na transformação dos dados para a base logarítmica, através da aplicação do logaritmo natural nos valores da amostra. Os novos gráficos de controle são exibidos, após a transformação de suas bases, na figura 3. Nessa figura é possível observar um comportamento igual entre eles (o que era de se esperar).

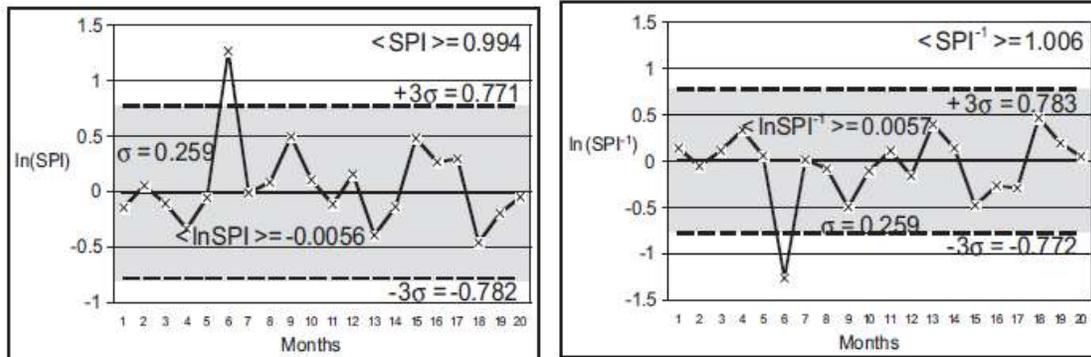


Figura 3 - Gráfico de controle de SPI e SPI^{-1} com dados na base Ln

Essa solução acabou com a inconsistência dos dados exibidos no gráfico de controle e ainda melhorou a distribuição dos dados no histograma do CPI e CPI^{-1} , após passá-los para a base Ln, conforme ilustra a figura 4.

Uma das principais lições aprendidas com essa publicação é que: os dados dos indicadores de desempenho de custo e prazo, normalmente não têm distribuição normal, o que impede que eles sejam utilizados para prever o comportamento dos projetos. E que a transformação da base dos indicadores de decimal para logarítmica pode mudar a distribuição para normal, permitindo a realização de diversas operações estatísticas como, por exemplo, a regressão linear.

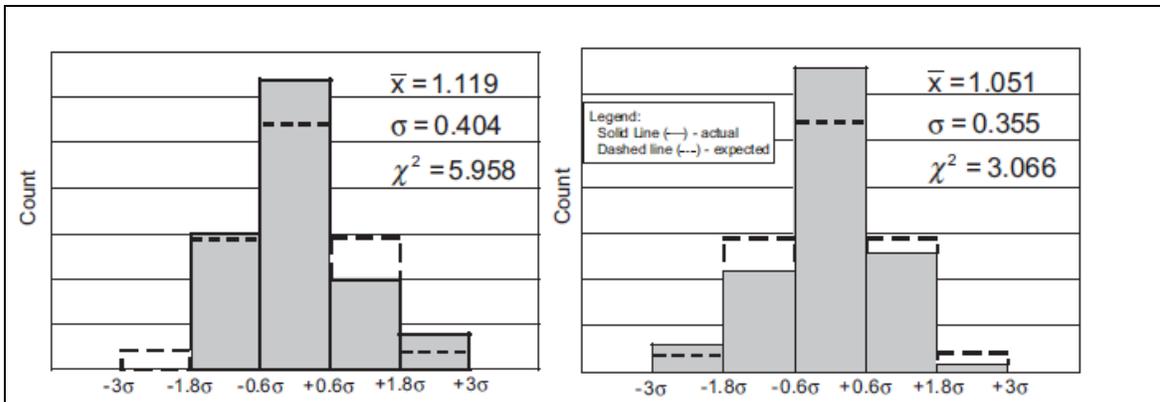


Figura 4 – Histograma do CPI⁻¹ antes (base decimal) e depois de passá-lo para a base Ln

4. Comentários adicionais do pesquisador.

Artigo idêntico ao 14!!!

5. Referências Relevantes

Florac, William A., and Anita D. Carleton, Measuring the Software Process, Addison Wesley, Reading, Mass., 1999.

Pitt, Hy, SPC for the Rest of Us, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1995.

Software Engineering Institute Course, Statistical Process Control for Software, July 1999.

6. Relevância do Artigo

1	2	3	4	X
----------	----------	----------	----------	----------

Pouco Relevante

Excelente

ANEXO II – GLOSSÁRIO DE EQUAÇÕES

Este capítulo lista as equações apresentadas e mais utilizadas na tese e seu respectivo significado. As equações que foram apresentadas e não são utilizadas frequentemente não foram colocadas nessa seção porque dificultaria a sua leitura

II.1 TÉCNICA DE GERENCIAMENTO DE VALOR AGREGADO TRADICIONAL

A Tabela II.1 descreve as principais equações da técnica de GVA utilizadas nessa tese.

Tabela II.1 – Lista de Equações da Técnica Tradicional de GVA.

Técnica: Análise de Valor Agregado Tradicional		
Mnemônico	Significado	Equação
Valor Planejado Acumulado (VP_{Acum})	A soma de todos os orçamentos para todo o trabalho planejado programado dentro de um determinado período de tempo é conhecido como VP _{Acum} .	$\sum_1^N PVAtividade (N)$
Valor Agregado Acumulado (VA_{Acum})	Reflete a quantidade de trabalho que foi realizado até uma data específica, ou dentro de um período de tempo e é expresso na forma do valor planejado para o trabalho executado	$VA_{Acum} = \% \text{ Executado} * VP_{Acum}$
Custo Real Acumulado (CR_{Acum})	O CR _{Acum} é o custo total incorrido, registrado na execução do trabalho para uma atividade ou para um componente da estrutura analítica do projeto.	$\sum_1^N CRAtividade (N)$
Indicador de Desempenho de Prazos (IDP_{Acum})	O IDP _{Acum} é um indicador do progresso alcançado comparado ao progresso planejado de um projeto (PMI, 2011).	$IDP_{Acum} = \frac{VA_{Acum}}{VP_{Acum}}$
Indicador de Desempenho de Custos (IDC_{Acum})	O Indicador de Desempenho de Custos (IDC _{Acum}) é uma medida do valor do trabalho executado comparado ao custo real ou progresso feito no projeto (PMI, 2011).	$IDC_{Acum} = \frac{VA_{Acum}}{CR_{Acum}}$
Orçamento no Término (ONT)	Representa orçamento do projeto, estimado no início de sua execução.	$\sum_1^N PVAtividade (N)$

... Continua na próxima página

... Continuação da Tabela II.1 – Lista de Equações da Técnica Tradicional de GVA.

Técnica: Análise de Valor Agregado Tradicional		
Mnemônico	Significado	Equação
Estimativa no Término (ENT)	Fornecer a estimativa final de custo, caso a tendência seja que o Índice de Desempenho de Custo Acumulado (IDC_{Acum}).	$ENT_1 = \frac{ONT}{IDC_{Acum}}$ <p>1 - IDC_{Acum} será igual até o final da execução do projeto;</p> $ENT_2 = CR_{Acum} + ONT - VA_{Acum}$ <p>2 - IDC_{Acum} será igual a 1 até o final da execução do projeto;</p> $ENT_3 = \frac{CR_{Acum} + (ONT - VA_{Acum})}{(IDC_{Acum} \times IDP_{Acum})}$ <p>3 – Trabalha a Estimativa Para Terminar (EPT) (trabalho restante), executada com uma taxa de eficiência que considera os índices de desempenho de prazo (IDP) e de custos (IDC)</p>

II.2 Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado com Dados Históricos de Desempenho de Custo – Versão 1

A Tabela II.2 descreve as equações da primeira versão da técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo, proposta nessa tese.

Tabela II.2 – Lista de Equações da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo

Técnica: Análise de Valor Agregado com Dados Históricos de Desempenho de Custo – Versão 1		
Mnemônico	Significado	Equação
Peso_{Acum} Projeto	Representa o percentual do projeto já executado. No final da execução do projeto o Peso_{Acum} será igual a 1, e durante a execução do projeto, a soma do Peso_{Acum} com o Peso de cada uma das fases (Fase01(F01) a FaseN(FN)), também deve ser igual a 1	$Peso_{Acum} = \frac{VA_{AcumProjeto}}{ONT\ Projeto}$

... Continua na próxima página

... Continuação da Tabela II.2 – Lista de Equações da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo

Técnica: Análise de Valor Agregado com Dados Históricos de Desempenho de Custo – Versão 1		
Mnemônico	Significado	Equação
Indicador de Desempenho de Custo Histórico (IDC_{HistFN})	Representa o IDC_{Acum} real de uma determinada fase do ciclo de vida, medido após a sua execução. Deve-se utilizar o IDC_{Acum} médio de cada fase específica, e que foi executada diversas vezes, em diversos projetos.	$\sum_1^N \frac{IDCFase\ N}{N}$
Peso_{FN}	Indica o quanto a fase do ciclo de vida representa do custo total do projeto.	$Peso_{FN} = \frac{(ONT_{FN} - VA_{AcumFN})}{ONT\ Projeto}$
ONT_{FN}	Representa o Orçamento No Término (ONT) para a execução de uma determinada fase.	$\sum_1^N VP_{Acum\ FN}$
IDC_{Est}	Representa o Indicador de Desempenho de Custo Acumulado (IDC_{Acum}) estimado para o final da execução do projeto, e que será utilizado para realizar as projeções de custo para a ENT.	$IDC_{Acum} * \frac{VA_{Acum}}{ONT\ Projeto} + \frac{\sum_1^N IDC_{Hist\ FN} * (ONT_{FN} - VA_{Acum\ FN})}{ONT\ Projeto}$

II.3 Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado com Dados Históricos de Desempenho de Custo – Versão 2

A Tabela II.3 descreve as equações da segunda versão da técnica de GVA com dados históricos de desempenho de custo, proposta nessa tese.

Tabela II.2 – Lista de Equações da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo – Versão 2

Técnica: Análise de Valor Agregado com Dados Históricos de Desempenho de Custo – Versão 2		
Mnemônico	Significado	Equação
CR_{Previsto FN}	Custo real previsto para a execução de uma determinada fase do ciclo de vida.	$\frac{ONT\ FN}{IDC\ Histórico\ FN}$

... Continua na próxima página

... Continuação da Tabela II.2 – Lista de Equações da Técnica de GVA com Dados Históricos de Desempenho de Custo – Versão 2

Técnica: Análise de Valor Agregado com Dados Históricos de Desempenho de Custo – Versão 2		
Mnemônico	Significado	Equação
IDC_{Prev}	Faz a projeção do IDC_{Acum} no final da execução do Projeto com base nos dados históricos de qualidade de todas as fases do ciclo de vida dos projetos.	Equação abaixo:
$\frac{VAAcum\ Projeto + \sum_1^N(ONT\ FN - VAAcum\ FN) + \sum_1^N ONT\ FN}{CRACum\ Projeto + \sum_1^N(CRPrevisto\ FN - CRACum\ FN) + \sum_1^N(CRPrevisto\ FN)}$		

II.4 Técnica de Gerenciamento de Valor Agregado com Dados Históricos de Qualidade

A Tabela II.4 descreve as equações da técnica de GVA com dados históricos de qualidade, proposta nessa tese.

Tabela II.2 – Lista de Equações da Técnica de GVA com Dados Históricos de Qualidade

Técnica: Análise de Valor Agregado com Dados Históricos de Qualidade	
Mnemônico	Significado
DensidadeDefeitosFN	A densidade de defeitos de uma fase é uma medida da quantidade de defeitos esperados para uma determinada fase do ciclo de vida de um projeto
Densidade de Defeitos FN	$= \frac{\text{Média Histórica de Defeitos de Todos os Artefatos da Fase N}}{\text{Tamanho Histórico dos Projetos}}$
Esforço Médio Estimado para Correção de Defeito da Fase (EMECD)	Essa é uma atividade organizacional que visa facilitar o cálculo do esforço e custo para resolução dos defeitos esperados de alguma fase.
EMECD	$= \frac{\text{Média Histórica de Esforço para Correção Defeitos no Fase N}}{\text{Média Histórica de Defeitos no Fase N}}$
Total de Defeitos Esperados (TDE)	O TDE representa os defeitos esperados para uma dada fase do ciclo de vida em um projeto. Essa medida será gerada levando-se em consideração a densidade de defeitos das unidades de software a serem revistas dentro de uma determinada fase.
TDE = Tamanho do Projeto * Densidade de Defeitos da Fase	
Número de Defeitos Esperados (NDE_{Acum})	O <i>Número de Defeitos Esperados Acumulados (NDE_{Acum})</i> representa os defeitos esperados em atividades de garantia da qualidade até determinado momento do projeto.
NDE_{Acum} = TDE_{Total} * PEAGQAP FN	

... Continua na próxima página

... Continuação da Tabela II.2 – Lista de Equações da Técnica de GVA com Dados Históricos de Qualidade

Tabela II.2 – Lista de Equações da Técnica de GVA com Dados Históricos de Qualidade

Técnica: Análise de Valor Agregado com Dados Históricos de Qualidade	
Mnemônico	Significado
Número de Defeitos Esperados (NDE_{Acum})	O <i>Número de Defeitos Esperados Acumulados (NDE_{Acum})</i> representa os defeitos esperados em atividades de garantia da qualidade até determinado momento do projeto.
$NDE_{Acum} = TDE_{Total} * PEAGQAP\ FN$	
Percentual de Atividades de Garantia da Qualidade Executadas (PEAGQAP FN)	Representa o Percentual de Atividades de Garantia da Qualidade Executadas em uma determinada fase do ciclo de vida do projeto
$PEAGQAP\ FN = \frac{VA_{Acum\ Fase}}{ONT\ Fase}$	
Número de Defeitos Identificados Acumulados (NDI_{Acum})	O <i>Número de Defeitos Identificados Acumulados (NDI_{Acum})</i> representa os defeitos detectados em atividades de garantia da qualidade até determinado momento do projeto.
$NDI_{Acum} = \sum_1^N \text{Defeito Identificado } FN$	
Número de Defeitos Corrigidos Acumulados (NDC_{Acum})	O <i>Número de Defeitos Corrigidos Acumulados (NDC_{Acum})</i> representa os defeitos corrigidos até o momento no projeto.
$NDC_{Acum} = \sum_n^1 \text{Defeito Corrigido } N$	
Esforço Médio Estimado para Resolução de Defeitos (EMERD)	Esforço Médio Estimado para Resolução de Defeitos de uma fase do ciclo de vida do projeto
$EMERD = EMECD * Medida$	
Indicador de Desempenho da Defeito (IDD_{Acum})	O <i>IDD_{Acum}</i> é um indicador que mostra a relação entre os defeitos esperados e os defeitos identificados para uma fase de um determinado projeto.
$IDD_{Acum} = \frac{NDE_{Acum}}{NDI_{Acum}}$	
Estimativa de Defeitos Para Completar (EDPC)	Nova estimativa de Defeitos Para Completar a execução de uma fase do ciclo de vida.
$EDPC = \frac{TDE}{IDD_{Acum}}$	
Estimativa de Defeitos Extras Para Completar (EDXPC)	A Estimativa de Defeitos Extras Para Completar (EDXPC) mede a variação de defeitos que são esperados em função da variação da positiva ou negativa da EDPC
$EDXPC = EDPC - TDE$	

... Continua na próxima página

... Continuação da Tabela II.2 – Lista de Equações da Técnica de GVA com Dados Históricos de Qualidade

Tabela II.2 – Lista de Equações da Técnica de GVA com Dados Históricos de Qualidade

Técnica: Análise de Valor Agregado com Dados Históricos de Qualidade	
Mnemônico	Significado
Variação de Custo dos Defeitos (VCD)	Informa o quão diferente do esperado será o custo estimado com retrabalho para correção dos defeitos identificados.
$VCD = EDXPC * EERD * VHH$ (Valor Homem Hora)	
Estimativa No Término ($ENT_{Qualidade}$)	Representa a Estimativa No Término ($ENT_{Qualidade}$) para alguma fase do ciclo de vida do projeto. Essa equação representa a integração da técnica de qualidade com a GVA tradicional ou com a técnica proposta de GVA com histórico de desempenho de custo se substituído o IDC_{Acum} da equação abaixo pelo $IDC_{Previsto}$, calculado com a técnica GVA_{HDC}
$ENT_{Qual} = \frac{ONT}{IDCAcum} + VCD$	