

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Lucélia Pereira Gonçalves

**APOIO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS DE
SOFTWARE INTEGRADO A UM ADS**

Belém
2012

Lucélia Pereira Gonçalves

APOIO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS DE SOFTWARE INTEGRADO A UM ADS

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFPA para a obtenção do Grau de Mestre em Ciência da Computação

Belém
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

APOIO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS DE SOFTWARE INTEGRADO
A UM ADS

AUTOR: LUCÉLIA PEREIRA GONÇALVES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO NA ÁREA DE ENGENHARIA DE SOFTWARE.

APROVADA EM 10 DE DEZEMBRO DE 2012

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Rodrigo Quites Reis
(ORIENTADOR – PPGCC/ICEN/UFPA)

Prof. Dr. Gleison dos Santos Souza
(EXTERNO – UNIRIO)

Prof. Dr. Sandro Ronaldo Bezerra Oliveira
(INTERNO – PPGCC/UFPA)

VISTO:

Prof. Dr. Nelson Cruz Sampaio Neto
(COORDENADOR DO PPGCC/ICEN/UFPA)

Aos meus pais e noivo, minha gratidão eterna.

Agradecimentos

A Deus, primeiramente, por ter me dado forças para nunca desistir dos meus sonhos, e por ter colocado em minha vida pessoas especiais que me ajudaram na realização desse trabalho.

Ao meu pai Clovis por sempre ter me ensinado valores que foram importantes em todos os momentos da minha vida e ter me apoiado em tudo que fiz.

À minha mãe Luciclea pelo seu carinho, amizade, amor que sempre foram importantes para as grandes tomadas de decisão na minha vida e durante esse trabalho. Por ser um exemplo de mulher para mim.

À minha avó Esther por ter me apoiado através de suas orações, por sempre ter torcido pelo meu sucesso.

Ao meu noivo Liken por toda a amizade, companheirismo, amor e carinho.

Ao grupo de medição (Luciana, Talita e Liken) por terem me ajudado, compartilhando conhecimento e discutindo minha proposta. À Luciana, por ter muitas vezes me ajudado a delimitar meu tema e a direcionar minha pesquisa. À Talita por ter me ajudado com seus questionamentos pertinentes. Ao Liken por ter me ajudado a implementar a ferramenta de software desenvolvida nessa dissertação.

Ao meu orientador Rodrigo Quites Reis, por ter me orientado e apoiado, auxiliado nas revisões, na delimitação do tema e questionamentos que foram importantes para o crescimento profissional e dessa dissertação.

À professora Carla Lima por ter me dado oportunidade de participar de projetos que foram importantes para minha formação profissional.

Às minhas grandes amigas Gabriela (*Gaby*) e Marcele (*Celle*) por terem me escutado, me apoiado quando tudo dava errado e também terem comemorado durante as notícias boas.

Aos membros do LABES por terem me ajudado na minha formação profissional e estudantil. Por todos os conhecimentos compartilhados durante as reuniões de grupo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – pela bolsa de mestrado para o desenvolvimento deste trabalho.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará – FAPESPA – pelo apoio ao projeto “Desafios do Aumento da Maturidade em Organizações de Desenvolvimento de Software: Integração de Soluções para Avanços em Qualidade de Software”, ao qual este trabalho esta inserido.

Aos membros da banca, pela participação e pelas contribuições.

“O que acontece quando a gente realiza um sonho?”

RESUMO

Cada vez mais as organizações de software estão procurando melhorar os seus processos de desenvolvimento com o intuito de alcançar os objetivos de negócio estabelecido, aumentar suas perspectivas de mercado, e entregar melhores produtos.

Uma das práticas utilizadas para apoio à descoberta de pontos de melhoria no processo é a medição. Através dela é possível coletar medidas de projetos da organização e realizar uma análise e comparação de medidas reais e planejadas, que não são muito eficientes para auxiliar na determinação do desempenho de processos ou mesmo na predição destes. Já que, somente a análise comparativa de pontos isolados em um gráfico não é o bastante para identificar problemas reais, é necessário avaliar a variação do processo durante um período. Para esse tipo de análise pode-se utilizar o controle estatístico de processo (CEP), que vem sendo adotado por organizações de desenvolvimento de software para gerenciamento, predição, controle e melhoria de forma contínua de seus processos.

Modelos de maturidade, tais como CMMI-DEV e MR-MPS-SW, indicam que o CEP seja realizado nos níveis mais altos de maturidade. Muitas organizações sentem dificuldade na aplicação desses processos, devido: à falta de procedimentos para realização das atividades relacionadas; e à falta de ferramentas de software adequadas para a realização das atividades.

Dessa forma, sem apoio ferramental adequado e um processo que sirva de arcabouço para a realização do CEP, a sua implantação torna-se bastante onerosa e passível de erros. Visando auxiliar na execução do CEP, este trabalho apresenta um processo-padrão que descreve as atividades e procedimentos necessários para implementação do processo de CEP. Além disso, apresenta uma ferramenta que visa apoiar as organizações na execução das atividades do CEP, provendo funcionalidades para: planejamento da medição, coleta dos dados, análise da variabilidade dos processos controlados (através de gráficos de controle), apoio ao estabelecimento de *baselines* de desempenho, e descoberta de causas, registro e acompanhamento de ações de melhoria no processo. Essa ferramenta está integrada a um Ambiente de Desenvolvimento de Software (ADS) chamado WebAPSEE.

PALAVRAS-CHAVE: controle estatístico de processo (CEP); gráfico de controle; variação; desempenho do processo; medição; Ambiente de Desenvolvimento de Software; WebAPSEE.

ABSTRACT

Nowadays, more software organizations are looking to improve their development processes, in order to achieve the business goal setting, increase their market prospects and deliver better products.

One of the key practices used to support the discovery of points for process improvement is measurement. This way, is possible to collect measures of the organization's projects and perform an analysis and comparison of actual and planned measures, which are not very efficient to assist in determining the processes performance or even to predict them. Whereas, only a comparative analysis of isolated points on a chart is not sufficient to identify real world problems. It is necessary to evaluate the process variation through time. For this, statistical process control (SPC) is being adopted by software development organizations for management, prediction, control and continuously improve their processes.

Maturity models, such as CMMI-DEV and MR-MPS-SW, indicate that the SPC is conducted at the highest levels of maturity. Many organizations face difficulties in applying these processes, due to: the lack of procedures for carrying out the related activities and the lack of appropriate tool support to implement this activities.

Thus, without proper tools and support a process to guide SPC enactment, its implementation tends to be costly and error-prone. To assist the implementation of the SPC, this work presents a standard process that describes the required activities and procedures to implement the SPC process. Moreover, it presents a tool to assist organizations in implementing the activities of the SPC, providing functionalities for: measurement planning, data collection, analysis of process variability (using control charts), establishment of performance *baselines* and causal analysis, registration and monitoring of actions for process improvement. This tool is integrated to a Software Development Environment (ADS) called WebAPSEE.

KEYWORDS: statistical process control (SPC), control chart, variation, process performance; measurement; Software Development Environment; WebAPSEE.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. ESTRUTURA DOS GRÁFICOS DE CONTROLE	23
FIGURA 2. PASSOS PARA USAR GRÁFICOS DE CONTROLE PARA AVALIAR A ESTABILIDADE DO PROCESSO ADAPTADO DE [FLORAC E CARLETON, 1999]	24
FIGURA 3. FÓRMULAS PARA O CÁLCULO DA MÉDIA, GRANDE MÉDIA DO GRÁFICO X-BAR E PARA O CÁLCULO DA AMPLITUDE E AMPLITUDE MÉDIA DO GRÁFICO R.....	26
FIGURA 4. GRÁFICO DE CONTROLE X-BAR E R.....	28
FIGURA 5. GRÁFICO DE CONTROLE X-BAR E S E CÁLCULO DOS SEUS LIMITES E LINHA CENTRAL.....	31
FIGURA 6. GRÁFICO DE CONTROLE XMR E O CÁLCULO DOS SEUS LIMITES E LINHA CENTRAL.....	34
FIGURA 7. MEDIDAS DE ESFORÇO EM ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO PARA O GRÁFICO XMMR.....	35
FIGURA 8. GRÁFICO DE CONTROLE XMMR	36
FIGURA 9. NÚMERO DE DEFEITOS ENCONTRADOS PARA A GERAÇÃO DO GRÁFICO DE CONTROLE U	37
FIGURA 10. GRÁFICO DE CONTROLE U E OS SEUS LIMITES E LINHAS CENTRAIS	38
FIGURA 11. MEDIDAS COLETADAS E GRÁFICO DE CONTROLE C.....	39
FIGURA 12. TESTES PARA ANALISAR A ESTABILIDADE DO PROCESSO – ADAPTADO DE [FLORAC E CARLETON 1999].....	39
FIGURA 13. ORGANIZAÇÃO TEXTUAL DO PROCESSO-PADRÃO.....	48
FIGURA 14. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA PARA AS PRINCIPAIS CONSTRUÇÕES DA LINGUAGEM DE MODELAGEM DE PROCESSO DO WEBAPSEE [LIMA REIS, 2003]	49
FIGURA 15. PROCESSO-PADRÃO PARA IMPLANTAÇÃO DA MEDIÇÃO E CEP	50
FIGURA 16. SUBATIVIDADES PARA O PLANEJAMENTO DE MEDIÇÃO PARA O CEP PARA UM PROJETO	52
FIGURA 17. SUBATIVIDADES PARA O PLANEJAMENTO DE MEDIÇÃO PARA O CEP PARA VÁRIOS PROJETOS DA ORGANIZAÇÃO	53
FIGURA 18. EXEMPLOS DE SUB-AGRUPAMENTO POR: (A) SEMANA (B) ATIVIDADE – ADAPTADO DE [FLORAC E CARLETON 1999]	59
FIGURA 19. SUBATIVIDADES DA ESTABILIZAÇÃO E CONTROLE DO PROCESSO	73
FIGURA 20. PROCEDIMENTO PARA A AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE UM PROCESSO ESTÁVEL [ADAPTADO DE FLORAC E CARLETON, 1999]	82
FIGURA 21. EXEMPLO DE MÉTRICAS DE ESFORÇO E GRÁFICO DE CONTROLE XMR - ADAPTADO DE FLORAC E CARLETON (1999)	83
FIGURA 22. HISTOGRAMA GERADO	84
FIGURA 23. EXEMPLO DE COMPARAÇÃO DOS LIMITES NATURAIS DO PROCESSO COM O ESPECIFICADO	84
FIGURA 24. <i>MANAGER CONSOLE</i> (A) E <i>TASKAGENDA</i> (B)	88
FIGURA 25. DEFINIÇÃO DE INDICADORES (A) E SELEÇÃO DE ALVO PARA MEDIÇÃO (B) [RIBEIRO ET.AL. 2011].....	89
FIGURA 26. DEFINIÇÃO DE MÉTRICAS (A) E COLETA DE MÉTRICAS (B) [RIBEIRO ET.AL. 2011]	90
FIGURA 27. ETAPAS DO CEP NO DOMÍNIO ORGANIZACIONAL.....	91
FIGURA 28. TELA PARA DEFINIR SUBPROCESSO CRÍTICO.....	91
FIGURA 29. TELA DE DEFINIR INDICADORES ESTATÍSTICOS (A) E TELA DE DEFINIR ALVOS DE MEDIÇÃO (B).....	92
FIGURA 30. TELA PARA SELEÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DO PROJETO.....	93
FIGURA 31. TELA DE DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE PROJETOS	94
FIGURA 32. TELA DE DEFINIÇÃO DE PERIODICIDADE.	95
FIGURA 33. TELA DO GRÁFICO DE CONTROLE DE UM PROCESSO ESTÁVEL.....	97
FIGURA 34. TELA DO GRÁFICO DE CONTROLE DE UM PROCESSO INSTÁVEL (A), TELA DE CADASTRO DE PROBLEMAS ENCONTRADOS (B) E TELA DE CADASTRO DAS CAUSAS ESPECIAIS RELACIONADAS AOS PROBLEMAS (C), TELA DE LISTA DE AÇÕES DE MELHORIA DA ORGANIZAÇÃO (D) E TELA DE CADASTRO DE AÇÕES (E).	98
FIGURA 35. ETAPAS DO CEP NO DOMÍNIO DE PROJETOS	100
FIGURA 36. PROJETO SIMULADO.....	102
FIGURA 37. ATIVIDADE DE ANÁLISE DOS REQUISITOS	103
FIGURA 38. DETALHAMENTO DA ATIVIDADE DECOMPOSTA DE ANALISAR REQUISITOS	104
FIGURA 39. MENU PARA DEFINIÇÃO DE UM NOVO MIP-MODEL	104
FIGURA 40. TELA DE DESCRIÇÃO DO MIP-MODEL.....	105
FIGURA 41. TELA DE DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS DE NEGÓCIO	105
FIGURA 42. TELA DE DEFINIÇÃO DE SUBPROCESSO CRÍTICO	106
FIGURA 43. TELA DE DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS DE MEDIÇÃO.....	106
FIGURA 44. TELA DE DEFINIÇÃO DE QUESTÕES DE MEDIÇÃO	107
FIGURA 45. TELA DE DEFINIÇÃO DE INDICADORES.....	108
FIGURA 46. TELA DE DEFINIÇÃO DE MÉTRICAS.....	109
FIGURA 47. MENU PARA DEFINIÇÃO DE MIP	109
FIGURA 48. TELA DE RELACIONAMENTO ENTRE MIP-MODEL E MIP.....	110

FIGURA 49. TELA DE ESCOLHA DOS ALVOS DE MEDIÇÃO DO INDICADOR	111
FIGURA 50. TELA DE DEFINIÇÃO DA PERIODICIDADE DE COLETA	112
FIGURA 51. TELA DE SELEÇÃO DA PERIODICIDADE.....	113
FIGURA 52. TELA DE COLETA DAS MÉTRICAS	113
FIGURA 53. TELA DE GERAÇÃO DO GRÁFICO DE CONTROLE	115
FIGURA 54. TELA DE GERAÇÃO DO GRÁFICO DE CONTROLE COM O PONTO 9 OMITIDO.....	116
FIGURA 55. VISÃO ARQUITETURAL EM CAMADAS DO AMBIENTE WEBAPSEE [LIMA <i>ET AL.</i> , 2006]	119
FIGURA 56. DIAGRAMA DE CLASSES PARA IMPLEMENTAÇÃO DO CEP NO DOMÍNIO DE PROJETOS.....	120
FIGURA 57. DIAGRAMA DE CLASSES PARA IMPLEMENTAÇÃO DO CEP NO DOMÍNIO ORGANIZACIONAL.....	121
FIGURA 58. VISÃO GERAL DA ARQUITETURA PROPOSTA	122
FIGURA 59. DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA PARA GERAÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE – CLIENTE	125
FIGURA 60. DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA PARA GERAÇÃO DE GRÁFICOS DE CONTROLE – SERVIDOR.....	126
FIGURA 61. DIAGRAMA DE CLASSES PARA IMPLEMENTAÇÃO DA <i>BASELINE</i> DE DESEMPENHO DE PROCESSO.....	127
FIGURA 62. DIAGRAMA DE CLASSES PARA PROBLEMAS, CAUSAS E AÇÕES DE MELHORIA.....	128
FIGURA 63. DIAGRAMA DE ESTADOS DA CLASSE <i>ACTION</i>	129
FIGURA 64. . DIAGRAMA DE ESTADOS DA CLASSE <i>CAUSEOFPROBLEM</i>	129
FIGURA 65. DIAGRAMA DE ESTADOS DA CLASSE <i>PROBLEM</i>	129
FIGURA 66. ETAPAS DA AVALIAÇÃO DA PROPOSTA	131
FIGURA 67. FRAMEWORK PARA MEDIÇÃO DE AMBIENTES DE PROCESSO - ADAPTADO DE [FLORAC E CARLETON, 1999].....	136
FIGURA 68. VISÃO GERAL DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE BASE DE MEDIDAS [BARCELLOS, 2009]	138
FIGURA 69. VISÃO DE GERAL DO <i>WORKFLOW</i> PARA CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO DE SOFTWARE [SCHOTS E ROCHA, 2012]	138
FIGURA 70. MODELO DE DADOS DETALHADO DA IMPLEMENTAÇÃO DO CEP NO DOMÍNIO DE PROJETOS	158
FIGURA 71. MODELO DE DADOS DETALHADO DA IMPLEMENTAÇÃO DO CEP NO DOMÍNIO ORGANIZACIONAL.....	159

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. TABELA DE CONSTANTES PARA O CÁLCULO DOS LIMITES DOS GRÁFICOS X-BAR E R (FLORAC E CARLETON, 1999)	27
TABELA 2. QUANTIDADE DE HORAS DE ESFORÇO COLETADAS POR DIA DURANTE 16 SEMANAS (ADAPTADO DE FLORAC E CARLETON, 1999)	27
TABELA 3. TABELA DE CONSTANTES PARA O CÁLCULO DOS LIMITES DOS GRÁFICOS X-BAR E S (FLORAC E CARLETON, 1999)	30
TABELA 4. TAXAS DE INSPEÇÃO ENCONTRADAS COLETADAS EM CADA RELEASE.....	30
TABELA 5. ESFORÇO EM DIAS DO ESFORÇO DESPENDIDO NA ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	33
TABELA 6. RELACIONAMENTO ENTRE PERIODICIDADE E SUBAGRUPAMENTOS	62
TABELA 7. ATIVIDADES DO PROCESSO X REQUISITOS	85
TABELA 8. DADOS DE PRODUTIVIDADE DOS PROJETOS (ANTES DAS MELHORIAS)	95
TABELA 9. DADOS DE PRODUTIVIDADE DOS PROJETOS NOS MESES 10, 11, 12 DE 2006 (APÓS MELHORIAS REALIZADAS).....	99
TABELA 10. DETALHAMENTO DA <i>BASELINE</i> PARA O INDICADOR DE PRODUTIVIDADE NAS ATIVIDADES DO PROCESSO DE REQUISITOS.....	100
TABELA 11. TABELA DE TAMANHO DOS MÓDULOS DO PROJETO.....	114
TABELA 12. TABELA DE DADOS COLETADOS PARA CADA MÓDULO	114
TABELA 13. ETAPAS DA FERRAMENTA X REQUISITOS (SEÇÃO 3.1)	117
TABELA 14. ETAPAS DA FERRAMENTA X ATIVIDADES DO PROCESSO	118
TABELA 15. TABELA DE COMPONENTES DA ARQUITETURA X REQUISITOS	130
TABELA 16. TABELA COMPARATIVA ENTRE AS FASES DO PROCESSO DE CAMPOS E AS ATIVIDADES DO PROCESSO PROPOSTO.....	133
TABELA 17. TABELA COMPARATIVA ENTRE AS FASES DA ABORDAGEM DE CERDEIRA (2007) E O PROCESSO PROPOSTO	134
TABELA 18. TABELA COMPARATIVA ENTRE ATIVIDADES DO FRAMEWORK DE FLORAC E CARLETON (1999) E O PROCESSO PROPOSTO	137
TABELA 19. TABELA COMPARATIVA ENTRE AS ATIVIDADES DO <i>WORKFLOW</i> DE SCHOTS E ROCHA (2012) E O PROCESSO PROPOSTO	140
TABELA 20. TABELA DE TRABALHOS RELACIONADOS E PROCESSO PROPOSTO X REQUISITOS	142
TABELA 21. TABELA DE FERRAMENTAS X REQUISITOS.....	148
TABELA 22. TABELA DE FERRAMENTAS X CRITÉRIOS.....	148
TABELA 23. TABELA DE ADERÊNCIA AO NÍVEL B DO MR-MPS-SW	149

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1. TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROLE	25
QUADRO 2. TABELA DE REQUISITOS PARA CEP	47
QUADRO 3. EXEMPLO DE SUBPROCESSO CRÍTICO	55
QUADRO 4. EXEMPLO DE DESCRIÇÃO DOS OBJETIVOS DE MEDIÇÃO [BASILI E ROMBACH 1988]	56
QUADRO 5. EXEMPLO DE OBJETIVO DE MEDIÇÃO	57
QUADRO 6. EXEMPLO DE QUESTÃO DE MEDIÇÃO	58
QUADRO 7. EXEMPLO DE INDICADOR ESTATÍSTICO.....	61
QUADRO 8. EXEMPLO DE DEFINIÇÃO DE MÉTRICA	64
QUADRO 9. EXEMPLO DE CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE PROJETOS SIMILARES.....	67
QUADRO 10. EXEMPLO DE MÉTRICA COLETADA.....	69
QUADRO 11. EXEMPLO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE GERADOS PARA A ANÁLISE	72
QUADRO 12. EXEMPLO DE PROBLEMAS ENCONTRADOS	74
QUADRO 13. EXEMPLO DE CAUSA.....	75
QUADRO 14. EXEMPLO DE PLANO DE AÇÃO	76
QUADRO 15. EXEMPLO DE <i>BASELINE</i>	78
QUADRO 16. VALORES DO PLANO DE MEDIÇÃO.....	92
QUADRO 17. SELEÇÃO DE CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS.....	141
QUADRO 18. SELEÇÃO DE CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS.....	146

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	15
1.1. CONTEXTO.....	15
1.2. MOTIVAÇÃO.....	16
1.3. SUPOSIÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	17
1.4. OBJETIVO GERAL.....	17
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.6. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	18
1.7. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	18
CAPÍTULO 2- MEDIÇÃO E CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	20
2.1. MEDIÇÃO DE SOFTWARE.....	20
2.2. GERÊNCIA QUANTITATIVA DE PROCESSO DE SOFTWARE E CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS DE SOFTWARE.....	21
2.3. GRÁFICOS DE CONTROLE.....	22
2.3.1. <i>Tipos de Gráficos de Controle.....</i>	<i>24</i>
2.3.1.1. X-Bar e R.....	25
2.3.1.2. X-Bar e S.....	29
2.3.1.3. XmR.....	32
2.3.1.4. XMmR.....	34
2.3.1.5. u.....	36
2.3.1.6. c.....	38
2.3.2. <i>Teste de Estabilidade de Processo.....</i>	<i>39</i>
2.3.3. <i>Baseline de Desempenho do Processo.....</i>	<i>41</i>
2.3.4. <i>Causas Comuns e Causas Especiais.....</i>	<i>41</i>
2.4. MEDIÇÃO, GERÊNCIA QUANTITATIVA E CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO NAS NORMAS E MODELOS DE MELHORIA DE PROCESSO.....	42
2.4.1. MR-MPS-SW.....	42
2.4.2. CMMI.....	42
2.4.3. PSM (Practical Software Measurement).....	43
2.4.4. IEEE Std 1061-1998.....	43
2.4.5. GQM.....	43
2.4.6. GQ[I]M.....	44
2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	44
CAPÍTULO 3- PROCESSO-PADRÃO PARA APOIO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	45
3.1. REQUISITOS PARA APOIAR O CEP.....	45
3.2. PROCESSO-PADRÃO DE MEDIÇÃO E CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO DE SOFTWARE.....	47
3.2.1. <i>Descrição do Processo.....</i>	<i>48</i>
3.2.2. <i>Processo-padrão para Implantação da Medição de Software e Controle Estatístico de Processos de Software.....</i>	<i>49</i>
3.2.3. <i>Aderência do Processo aos Requisitos Para Processo de Controle Estatístico de Processo de Software.....</i>	<i>85</i>
3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	86
CAPÍTULO 4- FERRAMENTA PARA APOIO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	87
4.1. AMBIENTE WEBAPSEE.....	87
4.2. FUNCIONALIDADES DA FERRAMENTA DE APOIO A CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO DE SOFTWARE.....	91
4.2.1. <i>CEP para o Domínio Organizacional.....</i>	<i>91</i>
4.2.2. <i>CEP no Domínio de Projetos.....</i>	<i>100</i>
4.3. SIMULAÇÃO DE UM PROCESSO REAL.....	101
4.4. ADERÊNCIA DA FERRAMENTA AOS REQUISITOS E AO PROCESSO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO DE SOFTWARE.....	116
4.5. VISÃO GERAL DA ARQUITETURA DE FERRAMENTA PARA CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO DE SOFTWARE.....	118
4.6. ADERÊNCIA DA ARQUITETURA AOS REQUISITOS.....	130
4.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	130
CAPÍTULO 5- AVALIAÇÃO DA PROPOSTA.....	131

5.1. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA PROPOSTA.....	131
5.2. TRABALHOS RELACIONADOS AO PROCESSO-PADRÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO DE SOFTWARE	132
5.2.1. <i>Seleção e Caracterização dos Trabalhos Relacionados</i>	132
5.2.1.1. Campos et al., 2007.....	132
5.2.1.2. Cerdeiral et al., 2007	134
5.2.1.3. Florac e Carleton, 1999	135
5.2.1.4. Barcellos, 2009.....	137
5.2.1.5. Schots e Rocha, 2012	138
5.2.2. <i>Seleção dos Critérios para Avaliação</i>	140
5.2.3. <i>Análise Comparativa entre os Critérios Estabelecidos, os Trabalhos Relacionados e o Processo-padrão Proposto</i>	141
5.3. TRABALHOS RELACIONADOS À FERRAMENTA PROPOSTA DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO DE SOFTWARE	143
5.3.1. <i>Seleção e Caracterização dos Trabalhos Relacionados</i>	143
5.3.1.1. Action.....	143
5.3.1.2. CHARTrunner	143
5.3.1.3. Minitab.....	144
5.3.1.4. DataDrill	145
5.3.1.5. TychoMetrics	145
5.3.2. <i>Seleção dos Critérios para Avaliação</i>	145
5.3.3. <i>Análise Comparativa entre os critérios Estabelecidos e as Ferramentas Relacionadas e Ferramenta Proposta</i>	147
5.4. ADERÊNCIA AO NÍVEL B DO MR-MPS-SW	149
5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	149
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES	150
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	150
6.2. CONTRIBUIÇÕES.....	151
6.3. LIMITAÇÕES	152
6.4. TRABALHOS FUTUROS	153
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154
ANEXO I – MODELO DE DADOS DETALHADO DA IMPLEMENTAÇÃO DO CEP NO DOMÍNIO DE PROJETOS	158
ANEXO II – MODELO DE DADOS DETALHADO DA IMPLEMENTAÇÃO DO CEP NO DOMÍNIO ORGANIZACIONAL	

Capítulo 1- Introdução

Este capítulo apresenta o contexto a que se enquadra este trabalho, assim como a motivação para sua realização, o problema de pesquisa e a organização do texto da dissertação.

1.1. Contexto

Um número crescente de organizações tem almejado melhorias tanto no desenvolvimento quanto no gerenciamento de seus projetos de software com o objetivo de aumentar a competitividade e alcançar os objetivos de prazo, custo e qualidade definidos. Para tanto, diferentes práticas de melhoria dos processos internos das organizações têm sido adotadas de forma a melhorar o que é produzido, acreditando-se que a melhoria do processo irá influenciar na melhoria do produto [Fuggetta 2000].

Segundo Florac e Carleton (1999), as medidas coletadas durante os projetos de software podem ser usadas para melhorar o processo da organização. Através dessas medidas é possível mostrar como as características de qualidade do produto ou do processo de software podem ser quantificadas, representadas em gráficos e analisadas, possibilitando que o desempenho dos processos utilizados possa ser predito, controlado e guiado para atingir os objetivos de negócio e técnicos da organização.

Contudo, para determinar o desempenho dos processos e, assim, poder prevê-los, métodos adequados de análises dos dados devem ser utilizados em complemento aos métodos de gerência tradicional que se utilizam de análise e comparação de medidas reais e planejadas – os quais são pouco eficientes para auxiliar na determinação do desempenho de processos ou mesmo na predição destes [Fenton *et al.* 2004].

Neste caso, a utilização de gerência quantitativa em projetos pode fornecer, por meio da análise estatística de dados obtidos em medições, uma visão objetiva do projeto e dos processos nele utilizados. Através da gerência quantitativa é possível obter um entendimento da situação e andamento do projeto, suas variações de desempenho e qualidade, e o grau de alcance dos objetivos do projeto e da organização. Dessa forma, a gerência quantitativa fornece meios para acompanhar os níveis de variação dos processos, permitindo prever resultados futuros [Florac e Carleton 1999].

Alguns modelos de melhoria de processo de software, tais como, o CMMI (*Capability Maturity Model Integration*) [SEI 2010], e o MR-MPS-SW (Modelo de Referência de Melhoria do Processo de Software Brasileiro) [SOFTEX 2012a] em seus níveis mais altos de

maturidade e capacidade recomendam práticas de gerência quantitativa de processos, dentre as quais está o Controle Estatístico de Processos (CEP). Uma das ferramentas mais difundidas na aplicação do CEP é o gráfico de controle [Florac e Carleton 1999], ferramenta utilizada para medir a variação dos processos e avaliar sua estabilidade.

No entanto, a implementação do CEP é custosa, pois exige conhecimento de métodos estatísticos e rigor no estabelecimento da base de medidas para o CEP, entre outros. Dessa forma, existem alguns problemas relatados pelas organizações que implementam CEP [Barcellos 2009], [Komuro 2006], [Wang *et al.* 2007], [Card 2004], tais como: a falta de orientação de como o CEP deve ser realizado; o rigor como as métricas são coletadas e validadas; a obtenção dos dados de contexto relacionados às métricas; a falta de um repositório de métricas à utilização do CEP; e o esforço despendido na utilização das técnicas estatísticas; entre outros.

1.2. Motivação

De acordo com [Barcellos 2009], [Komuro 2006], [Wang *et al.* 2007], [Card 2004], existem muitas dificuldades para a realização do CEP. A seguir são citadas algumas:

- A falta de procedimentos para a realização das atividades do CEP, pois os modelos de maturidade, como MR-MPS-SW e o CMMI, mostram apenas as práticas que devem ser adotadas, mas não como elas devem ser aplicadas;
- A implementação do CEP demanda um esforço grande da organização, devido a um conjunto de fatores, tais como: medidas coletadas em níveis mais iniciais de maturidade não serem adequadas para CEP e dificuldade em manter a aderência e rastreabilidade entre os dados coletados das métricas com o plano de medição.

Além das dificuldades relatadas acima, existe a falta de ferramentas de software adequadas para apoiar o processo CEP. Normalmente, as organizações usam ambientes diferentes para cada fase do CEP, ou seja: para o **planejamento** utilizam ferramentas que auxiliam ao planejamento, como ferramentas de software ou planilhas do *Microsoft Excel*; na fase de **coleta dos dados**, as organizações utilizam um repositório ou planilhas *Excel* para armazenamento das medidas; na fase de **análise** utilizam uma ferramenta para geração dos gráficos de controle - como Minitab (2011), onde podem acessar o repositório ou seleciona os dados que desejam utilizar para a ferramenta.

A utilização de diversas ferramentas pode ocasionar problemas como: falta de aderência do planejamento da medição com o realizado na coleta e na análise dos dados coletados;

aderência dos dados coletados com os analisados; entendimento do contexto da medição, pois as ferramentas de análise apenas acessam os dados coletados, mas não o contexto da coleta ou ao processo de desenvolvimento. O problema de aderência dos dados se agrava quando a organização não possui um repositório de medidas adequado, pois manter um repositório de dados em uma planilha eletrônica (por exemplo) pode ocasionar problema de integridade dos dados.

1.3. Suposição da Dissertação

Conforme apresentado nas seções anteriores:

- As organizações de software têm dificuldade em implantar CEP devido à falta de orientação e procedimentos para a realização do CEP;
- Há uma carência de ferramentas de software que apoiem o CEP de forma integrada de todas as suas fases e que realize a rastreabilidade entre os processos da organização e as atividades de CEP.

Dessa forma, supõe-se que:

- A utilização de um processo-padrão pode auxiliar as organizações na implementação do CEP nas organizações;
- O desenvolvimento de uma solução integrada para automatizar o processo CEP, pode ser uma forma de auxiliar as organizações no desenvolvimento do CEP.

1.4. Objetivo Geral

Conforme a suposição apresentada na seção anterior este trabalho visa definir um processo-padrão com o objetivo de orientar as organizações na implementação do CEP e de uma ferramenta para apoio as atividades de controle estatístico que tem como objetivo auxiliar na rastreabilidade das atividades de CEP e os processos da organização. Esta ferramenta foi integrada a um ambiente de desenvolvimento de software, o WebAPSEE, desenvolvido pelo Laboratório de Engenharia de Software da UFPA (LABES-UFPA). A integração entre os dois faz-se interessante devido ao WebAPSEE possuir um módulo de planejamento, coleta, armazenamento e análise de medidas, além de integrar funcionalidades relacionadas com a automação de diversas etapas do ciclo de vida de processos de software. A partir das funcionalidades relacionadas à automatização de processos de software e de medição de software existentes no WebAPSEE, foi possível desenvolver uma ferramenta,

extensão da proposta de [Nascimento 2007], para apoiar o controle estatístico de processo de software neste ambiente.

1.5. Objetivos Específicos

O objetivo geral dessa dissertação podem ser divididos nos seguintes objetivos específicos:

- Definir um processo-padrão para o CEP;
- Estabelecer uma ferramenta para CEP integrando funcionalidades de planejamento, coleta dos dados, análise, descoberta de problemas e causas especiais, estabelecimento de plano de ação. Para isso, deve-se adaptar à proposta de plano de medição de Nascimento (2007) e adicionar as funcionalidades relacionadas ao CEP;
- Desenvolver um protótipo experimental que integre as funcionalidades estabelecidas na abordagem definida.

1.6. Metodologia de Pesquisa

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas as seguintes etapas:

- Primeiramente foi realizada uma revisão da literatura para identificar requisitos para o processo-padrão de CEP;
- Em seguida, foram especificados os requisitos para processo-padrão para o CEP;
- Por conseguinte, foi especificado o processo-padrão para o CEP; e
- Por último foi desenvolvida com base no processo especificado uma ferramenta para apoio a realização das atividades de CEP.

1.7. Organização do Texto

O texto está organizado da seguinte maneira:

- O Capítulo 2 apresenta a conceituação acerca da gerência quantitativa e do controle estatístico de processo;
- O Capítulo 3 descreve os requisitos do processo de CEP, o processo-padrão definido para apoiar as organizações na implementação do CEP;
- O Capítulo 4 mostra a ferramenta proposta para CEP;
- O Capítulo 5 apresenta os trabalhos relacionados a este trabalho;

- Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais e os trabalhos futuros.

Capítulo 2- Medição e Controle Estatístico de Processo

Este capítulo apresenta uma introdução aos conceitos de medição e controle estatístico de processo de software.

2.1. Medição de Software

Atualmente, um número crescente de organizações tem almejado melhorias tanto no desenvolvimento quanto no gerenciamento de seus projetos de software com o objetivo de aumentar a competitividade e alcançar os objetivos de prazo, custo e qualidade definidos. Para tanto, diferentes práticas de melhoria dos processos internos das organizações têm sido adotadas de forma a melhorar o que é produzido, acreditando-se que a melhoria do processo influenciará na melhoria do produto [Fuggetta 2000].

Segundo [Florac e Carleton 1999], as medidas coletadas durante os projetos de software podem ser usadas para melhorar o processo da organização. Através dessas medidas é possível mostrar como as características de qualidade do produto ou do processo de software podem ser quantificadas, representadas em gráficos e analisadas, possibilitando que o desempenho dos processos utilizados possa ser previsto, controlado e guiado para atingir os objetivos de negócio e técnicos da organização.

Fenton e Pfleeger (1997) definem medição como um processo pelo qual números ou símbolos são atribuídos a entidades do mundo real de forma a tornar possível caracterizar cada entidade a partir de regras claramente definidas. Segundo McGarry (2001), a medição em nível de projetos é utilizada para ajudar na gerência de projetos e na definição e implementação de planos mais realistas. Dessa forma, os principais objetivos de medição de software são os seguintes: coletar dados para medir o desempenho de cada processo; analisar o desempenho de cada processo; e armazenar e usar os dados para avaliar a estabilidade e capacidade do processo, assim como, identificar oportunidades de melhoria.

As organizações de software iniciam a medição dos seus produtos ou processos de software motivados pelos seguintes objetivos:

- Alcançar um nível de maturidade em modelos de maturidade, tais como MR-MPS-SW e CMMI;
- Melhorar a qualidade dos produtos desenvolvidos ou processos de software utilizados e estabilizar os processos da organização;
- Conhecer o processo da organização e melhorar as estimativas dos projetos, através de uma base de medidas. Por exemplo, um gerente pode estimar que para

projetos com determinadas características a produtividade pode ser X ou que o tempo estimado deve ser Y , pois outros projetos com as mesmas características mantiveram em média esses valores de medida. Dessa forma, as estimativas não se baseiam em opiniões e sim no histórico do que ocorreu na organização;

- Ajudar nas tomadas de decisões, pois através da análise das medidas coletadas é possível identificar atrasos e pontos que devem ser melhorados, sendo possível direcionar ações de melhoria para sanar problemas encontrados.

Contudo, para determinar o desempenho dos processos e assim poder prevê-los, métodos adequados de análises dos dados devem ser utilizados em complemento aos métodos de gerência tradicional que se utilizam de análise e comparação de medidas reais e planejadas.

A utilização de gerência quantitativa em projetos pode fornecer, por meio da análise estatística de dados obtidos em medições, uma visão objetiva do projeto e dos processos nele utilizados. Através da gerência quantitativa é possível obter um entendimento da situação e andamento do projeto, suas variações de desempenho e qualidade, e o grau de alcance dos objetivos do projeto e da organização. Dessa forma, a gerência quantitativa fornece meios para acompanhar os níveis de variação dos processos, permitindo prever resultados futuros [Florac e Carleton 1999].

Alguns modelos de melhoria de processo de software, tais como, o CMMI [SEI 2010], e o MR-MPS-SW [SOFTEX 2012b] em seus níveis mais altos de maturidade e capacidade estipulam práticas de gerência quantitativa de processos, dentre as quais está o controle estatístico de processos (CEP). Uma das ferramentas mais difundidas na aplicação do CEP é o gráfico de controle [Florac e Carleton 1999] - ferramenta utilizada para medir a variação dos processos e avaliar sua estabilidade.

2.2. Gerência Quantitativa de Processo de Software e Controle Estatístico de Processos de Software

Segundo SEI (2010), a gerência quantitativa dos projetos é o estabelecimento de objetivos de qualidade e desempenho para os projetos, assim como, o monitoramento do projeto e desempenho dos seus processos. Além disso, envolve determinar se os objetivos definidos são alcançados e se o processo é capaz de alcançá-los, e tomar ações corretivas sempre que necessário.

Segundo Florac e Carleton (1999), o CEP é uma das técnicas utilizadas para o controle da qualidade e desempenho dos processos e no auxílio da identificação de problemas e de ações a serem tomadas para que os processos se tornem estáveis estatisticamente.

O CEP ocorre através da análise da variação dos resultados obtidos pela medição de atributos do processo, que são selecionados por indicar características de qualidade ou desempenho que se deseja controlar estatisticamente.

Além disso, ao analisar a variabilidade de características do processo e do produto sobre o tempo é possível identificar a ocorrência de causas especiais de variação, que são variações no desempenho do processo devido a eventos que não são normais ao processo [Shewhart 1931]. Portanto, caso existam causas especiais de variação elas devem ser investigadas e removidas do processo para restabelecer sua estabilização.

Dessa forma, a variabilidade de características do processo e do produto sobre o tempo é importante para diferenciar as causas comuns das causas especiais. Shewhart (1931) define causas comuns como sendo os fenômenos naturais e inerentes ao processo e que os resultados são comuns às medidas de um dado produto. Já as variações de causas especiais são variações no desempenho do processo devido aos eventos que não sejam normais ao processo.

2.3. Gráficos de Controle

Os gráficos de controle são utilizados para auxiliar na análise da variabilidade de um processo [Wheeler e Chambers 1992], onde os dados de ocorrência do processo são dispostos. Sendo uma ferramenta estatística efetiva na análise do ambiente do processo, servindo como subsídio na tomada de ações nos processos, a predição e a melhoria do ambiente do processo no futuro.

A Figura 1 apresenta a estrutura de um gráfico de controle, que é composto de uma linha central e de limite superior e inferior, que representam estimativas calculadas a partir de um conjunto de medidas coletadas.

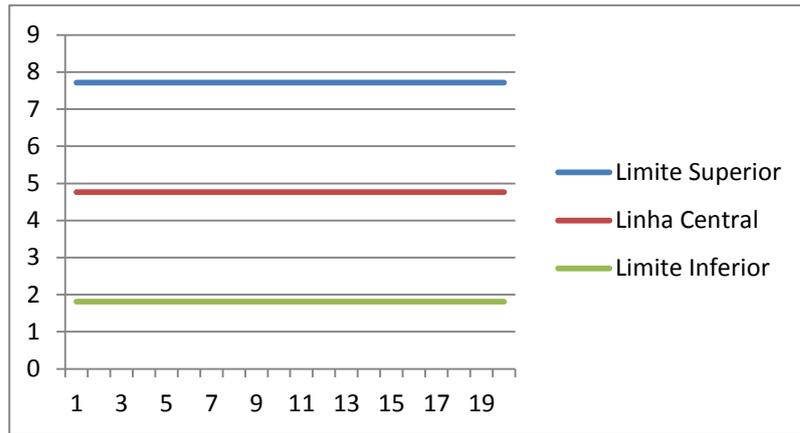


Figura 1. Estrutura dos Gráficos de Controle

Segundo [Florac e Carleton 1999], existem alguns passos para se utilizar gráficos de controle na investigação da estabilidade do processo. Os passos são descritos a seguir e ilustrados na Figura 2:

- Selecionar o processo para o qual a sua estabilidade deve ser avaliada;
- Identificar os produtos ou características do processo que descreve o desempenho do processo;
- Selecionar o tipo apropriado de gráfico de controle;
- Medir as características do processo e/ou produto em um período de tempo (o número de medidas e o período estarão em função do processo e irão depender do gráfico de controle utilizado);
- Utilizar os cálculos apropriados, aplicado para as medidas, para estabelecer a linha central e os limites de variação para o desempenho do processo normal (especificação do calculo vai depender do gráfico de controle usado);
- Representar os dados das medidas no gráfico de controle;
- Comparar os valores traçados com a linha central e os limites do gráfico de controle;
- Se os valores estão distribuídos aleatoriamente acima e abaixo da linha central e dentro do limite, conclui-se que o processo está estável durante um período ou evento (é necessário continuar a medir e a traçar os gráficos com os dados para assegurar que o processo está estável);
- Se vários valores estiverem fora do limite ou se o padrão de valores exibido não é aleatório, conclui-se que o processo não é estável e possui causas especiais. Nesse caso, o processo deve ser melhorado e suas causas especiais de variação eliminadas, para que o problema não ocorra novamente;

- Uma vez que todas as causas especiais foram removidas, os limites devem ser recalculados (isso pode significar a uma nova coleta de medidas para verificar se os limites para o processo estão corretos).

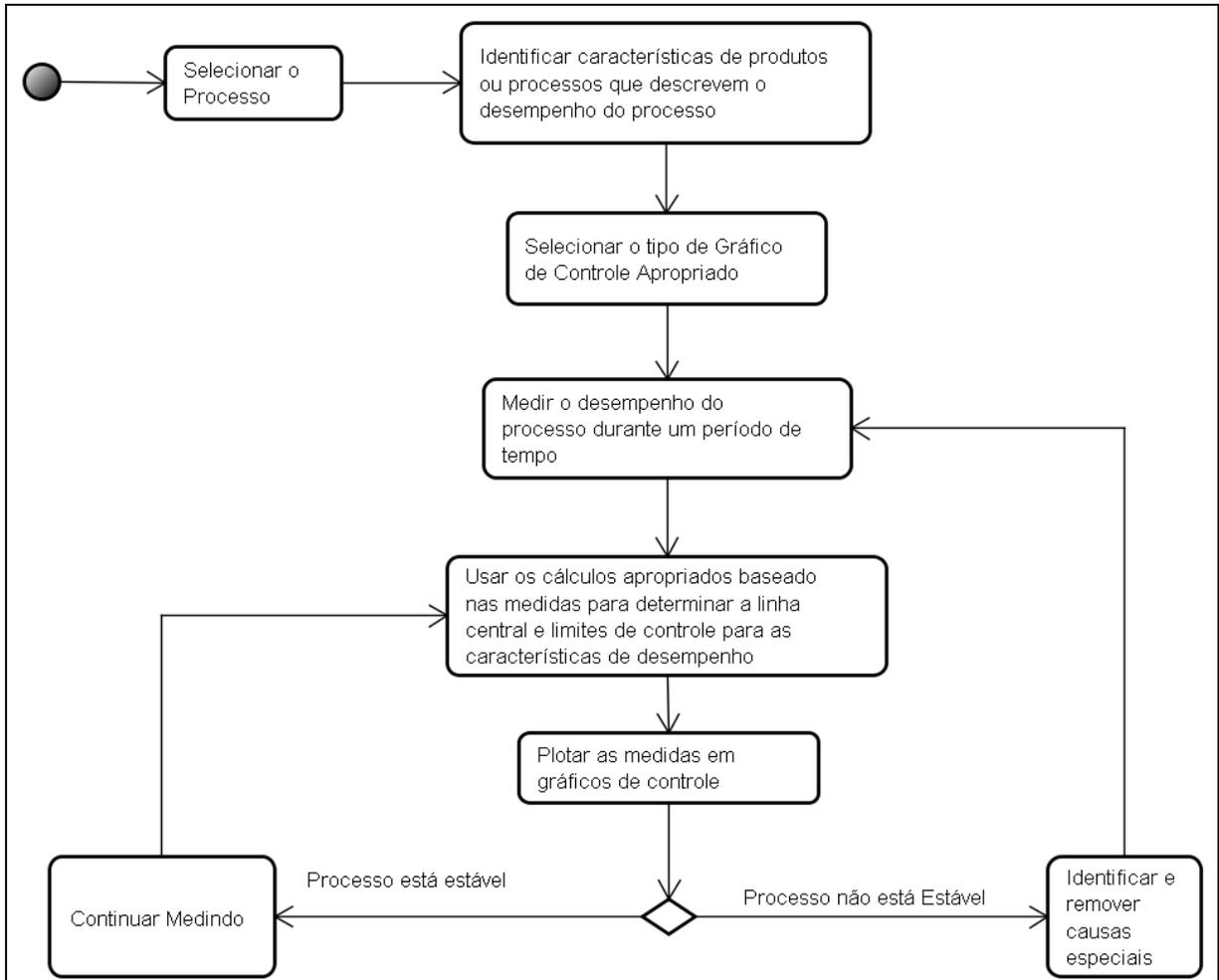


Figura 2. Passos para Usar Gráficos de Controle para Avaliar a Estabilidade do Processo adaptado de [Florac e Carleton, 1999]

Se o processo estiver sobre controle e se acredita que o processo continuará a operar no futuro como no passado, os limites encontrados podem ser usados para prever o futuro do processo. Dessa forma, se o processo não está estável, o limite encontrado julga somente o desempenho do processo no passado. Uma vez que as causas especiais forem corrigidas, o procedimento para determinar os limites pode ser iniciado.

2.3.1. Tipos de Gráficos de Controle

Existem vários tipos de gráficos de controle e cada um deve ser aplicado em determinada situação. Além disso, a maneira como os dados devem ser traçados, se devem ser agrupados e como devem ser calculados os limites de controle e a linha central são definidos

pelo tipo de gráfico de controle. Com a representação gráfica se torna mais fácil identificar os valores fora do limite esperado, ou seja, a presença de causas especiais. No entanto, as causas especiais podem aparecer ou não fora dos limites e, por isso, existem métodos de análise estatística que orientam sobre como identificar pontos que merecem atenção nos gráficos de controle, mesmo quando não estão fora dos limites permitidos à variação.

Os tipos de gráficos de controle se dividem pelo tipo de dados ou medidas que utiliza, que podem ser: variáveis, discretos e por atributo. Medidas variáveis são dados contínuos, como por exemplo, esforço e tempo. Já as medidas discretas representam contagens, como por exemplo, tamanho ou situação. E, por último, as medidas por atributo representam contagens relacionadas com a ocorrência de eventos ou conjunto de características, como por exemplo, o número de defeitos encontrados. Sendo que para identificar se uma medida é contínua, discreta ou por atributo deve-se considerar o contexto que a medida vai ser coletada e utilizada. No Quadro 1 são mostrados alguns exemplos de gráficos de controle divididos pelo seu tipo de dado.

Quadro 1. Tipos de Gráficos de Controle

Dados Discretos e Variáveis	Dados por Atributos
<ul style="list-style-type: none"> • X-Bar e R • X-Bar e S • XmR • XMmR 	<ul style="list-style-type: none"> • u • c • XMR • XMmR

2.3.1.1.X-Bar e R

Segundo Wheeler e Chambers (1992), os gráficos de X-Bar (média) e R (amplitude) são adequados para analisar o comportamento do processo através de medidas coletadas em um curto período de tempo sob as mesmas condições, sendo possível realizar o agrupamento de medidas dentro subgrupos que seguem determinadas condições. Além disso, a análise em conjuntos desses dois gráficos se limita a subgrupos de no máximo dez medidas.

O gráfico X-Bar é utilizado para analisar a tendência do gráfico e como a variação ocorre de subgrupo para subgrupo sobre o tempo, ou seja, analisa a média dos valores em cada subgrupo. Já o gráfico R, analisa a dispersão ou variação interna de cada subgrupo.

Para a construção desses gráficos é necessário que medidas tenham sido coletadas e que essas medidas já tenham sido agrupadas. Existem diversas formas que as medidas coletadas podem ser agrupadas temporalmente (tais como, anualmente, mensalmente, semanalmente, entre outros) ou levando em consideração uma entidade do processo (tais como, atividade, artefato, entre outros).

Os seguintes passos são realizados para o cálculo da linha central desses tipos de gráficos:

1. Primeiramente deve-se calcular a média (\bar{X}) e a amplitude (R) para cada subgrupo, as fórmulas podem ser encontradas na Figura 3, item 1 e item 2, respectivamente;
2. Em seguida para encontrar a linha central do gráfico X-Bar, deve-se calcular a grande média, que é a média de cada k subgrupo (Figura 3, item 3);
3. E, por último, para encontrar a linha central do gráfico R, deve-se calcular a amplitude média, através da média de cada k amplitude dos subgrupos (Figura 3, item 4).

<p>1- Média</p> $\bar{X}_k = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$	<p>3- Grande Média</p> $\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}$
<p>2- Amplitude</p> $R_k = X_{MAX} - X_{MIN} $	<p>4- Amplitude Média</p> $\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{k}$

Figura 3. Fórmulas para o Cálculo da Média, Grande Média do Gráfico X-Bar e para o Cálculo da amplitude e Amplitude Média do Gráfico R

Depois de encontrados as linhas centrais de cada gráfico, são possíveis calcular o limite superior e inferior do gráfico, que são computados da seguinte forma:

4. O limite superior (UCL) e inferior (LCL) do gráfico da média (X-Bar) é calculado pela soma ou diferença entre a grande média e a amplitude média (multiplicada por uma constante A2, que varia conforme o tamanho do subgrupo n, os valores dessa constante são apresentados na Tabela 1). As fórmulas para o limite superior, linha central e limite inferior são as seguintes:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + 1,2 \bar{R}$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - 1,2 \bar{R}$$

Tabela 1. Tabela de Constantes para o Cálculo dos Limites dos Gráficos X-Bar e R (Florac e Carleton, 1999)

n	d ₂	A ₂	D ₃	D ₄
2	1.128	1.880	-	3.268
3	1.693	1.023	-	2.574
4	2.059	0.729	-	2.282
5	2.326	0.577	-	2.114
6	2.534	0.483	-	2.004
7	2.704	0.719	0.076	1.924
8	2.847	0.373	0.136	1.864
9	2.970	0.337	0.184	1.816
10	3.078	0.308	0.223	1.777

5. O limite superior (UCL) é calculado pela multiplicação entre a amplitude média e a constante D4 (Tabela 1) e o limite inferior (LCL) calculado pela multiplicação entre a amplitude média e a constante D3 (Tabela 1). A seguir são apresentadas as fórmulas para o cálculo dos limites superior, linha central e limite inferior do gráfico de amplitude (R), respectivamente:

$$UCL_{\bar{R}} = \mathcal{D}_4 \bar{R}$$

$$CL_{\bar{R}} = \bar{r}$$

$$LCL_{\bar{R}} = \mathcal{D}_3 \bar{R}$$

Para exemplificar o cálculo dos gráficos X-Bar e R, considere que um gerente de projetos deseja analisar a quantidade de horas despendidas em atividades de manutenção semanalmente, considerando que o registro é realizado em horas. A Tabela 2 apresenta as medidas de esforço por dia coletadas:

Tabela 2. Quantidade de Horas de Esforço Coletadas por Dia durante 16 Semanas (adaptado de Florac e Carleton, 1999)

Semana	Seg	Ter	Quart	Quint	Sex	Média	Amplitude
1	50,5	43,5	45,5	39,8	42,9	44,44	10,7
2	44,3	44,9	42,9	39,8	39,3	42,24	5,6
3	48,8	51	44,3	43	51,3	47,68	8,3
4	46,3	45,2	48,1	45,7	44,1	45,88	4
5	40,6	45,7	51,9	47,3	46,4	46,38	11,3
6	44,4	49	47,9	45,5	44,8	46,32	4,6
7	46	41,1	44,1	41,8	47,9	44,18	6,8
8	44,9	43,4	49	45,5	47,4	46,04	5,6
9	50	49	42,6	41,7	38,5	44,36	11,5
10	44,5	46,5	41,7	42,6	41,7	43,4	4,8
11	43,8	41,8	45,5	44,5	38,6	42,84	6,9
12	43,2	43,8	44,8	43,5	40,9	43,24	3,9
13	50	43,4	48,3	46,4	43,4	46,3	6,6
14	52,3	45,2	42,2	44,8	42,8	45,46	10,1
15	50	46,2	47,4	42,2	47	46,56	7,8
16	47,3	49,7	48	42	41	45,6	8,7
Grandes Médias						45,0575	7,325

Decidiu-se agrupar por semana as medidas coletadas por dia. Dessa forma a média é calculada, somando-se os valores dos cinco dias da semana e dividindo pelo tamanho do subgrupo que é 5, como apresentado a seguir para a primeira semana:

$$\bar{X} = \frac{50,5 + \dots + 2,9}{5}$$

Em seguida é calculado o valor da amplitude, em que se faz a diferença entre o maior e menor valor de medida coletado, a seguir o cálculo para primeira semana:

$$R = |50,5 - 2,9|$$

O cálculo da grande média leva em consideração a somatória dos valores de todas as médias divididas pela quantidade de subgrupos (16). A seguir é apresentado o cálculo para o exemplo:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{14,44 + \dots + 5,6}{16}$$

Para o cálculo da amplitude média é considerado a soma de todas as amplitudes calculadas para cada subgrupo divididas pela quantidade de subgrupos, como no exemplo a seguir:

$$\bar{R} = \frac{10,7 + \dots + 7}{16}$$

Por último, são realizados os cálculos dos limites e da linha central do gráfico de controle e o gráfico é traçado. A Figura 4 apresenta o gráfico de controle X-Bar e R gerado e os cálculos realizados para os limites.

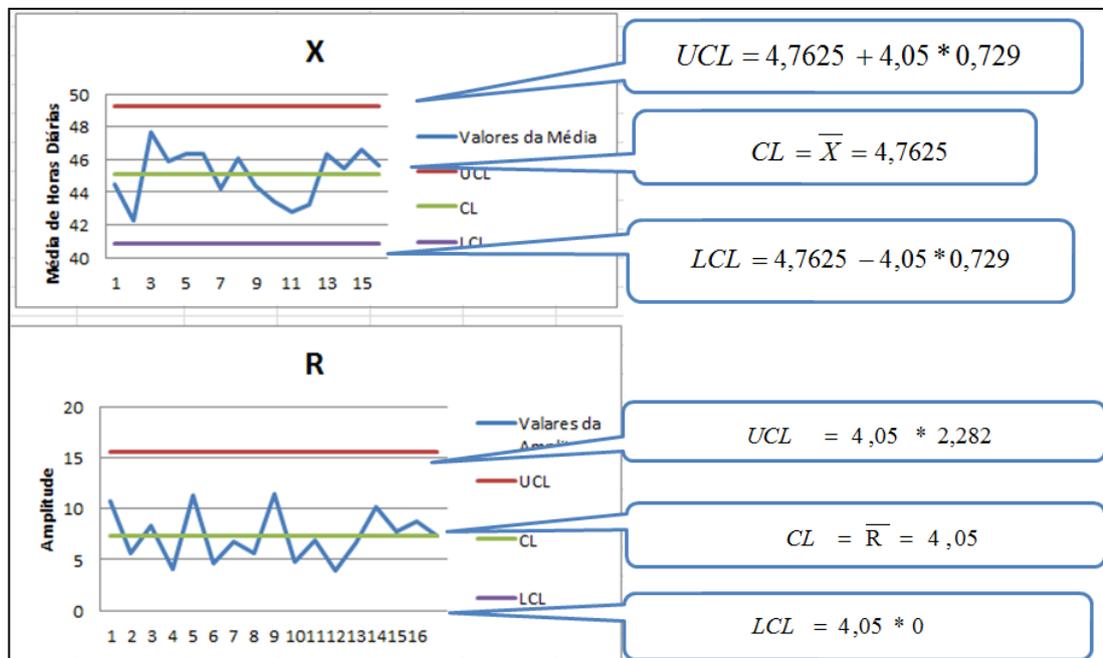


Figura 4. Gráfico de Controle X-Bar e R

2.3.1.2.X-Bar e S

Segundo Wheeler e Chambers (1992), os gráficos X-Bar e S são adequados também para analisar o comportamento do processo através da análise de subgrupo de medidas. No entanto são mais apropriados para subgrupos com mais de dez medidas.

Para obter os limites dos gráficos X-Bar e S, primeiramente deve-se coletar as medidas necessárias e agrupá-las. A seguir serão apresentados os passos para o cálculo da linha central dos gráficos de controle:

1. Primeiramente deve-se calcular a média dos elementos de cada subgrupo X, como na Figura 3.
2. Em seguida, deve-se calcular desvio padrão para cada subgrupo, a fórmula é apresentada a seguir. Sendo o X_i um das medidas dos elementos do subgrupo, \bar{X} a média das medidas dos subgrupos e n o tamanho do subgrupo.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

3. Depois, deve-se calcular a grande média, que a linha central do gráfico X-Bar, como na figura 3.
4. A seguir, calcula-se a média do desvio padrão ou linha central do gráfico S, pela média dos desvios padrão dos subgrupos. A fórmula é apresentada a seguir:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{k=1}^k \bar{S}_k}{k}$$

Após terem sido calculadas as linhas centrais dos gráficos é possível encontrar os limites dos gráficos. Através dos seguintes passos:

1. O limite superior (UCL) e inferior (LCL) calculados pela soma ou diferença entre a grande média e a amplitude média (multiplicada por uma constante A_3 , que varia conforme o tamanho do subgrupo n, os valores dessa constante são apresentadas na Tabela 3). O limite superior, linha central e inferior do gráfico da média (X-Bar) são calculados da seguinte forma:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$$

Tabela 3. Tabela de Constantes para o Cálculo dos Limites dos Gráficos X-Bar e S (Florac e Carleton, 1999)

n	A ₃	B ₃	B ₄
2	2.659	-	3.267
3	1.954	-	2.568
4	1.628	-	2.266
5	1.427	-	2.089
6	1.287	0.030	1.970
7	1.182	0.118	1.882
8	1.099	0.185	1.815
9	1.032	0.239	1.761
10	0.975	0.284	1.716
11	0.927	0.322	1.678
12	0.886	0.354	1.646
13	0.850	0.382	1.619
14	0.817	0.407	1.593
15	0.789	0.428	1.572

2. O limite superior (UCL) calculado pela multiplicação entre a média do desvio padrão e a constante B4 (Tabela 3) e o limite inferior (LCL) calculado pela multiplicação entre a média do desvio padrão e a constante B3 (Tabela 3). O limite superior, linha central e inferior do gráfico da média (X-Bar) são calculados da seguinte forma:

$$UCL_{\bar{S}} = 3_4 \bar{S}$$

$$CL_{\bar{S}} = \bar{s}$$

$$LCL_{\bar{S}} = 3_3 \bar{S}$$

Por exemplo, se um gerente de projeto de software deseja analisar a taxa de inspeção de código de um produto com 4 releases do produto, onde em cada uma delas, foram realizadas 15 inspeções. Sendo que, a taxa de inspeção é igual ao tamanho do produto inspecionado dividido pelo número de horas de inspeção realizadas (Tabela 4).

Tabela 4. Taxas de Inspeção Encontradas Coletadas em cada Release

Inspeções	Release 1	Release 2	Release 3	Release 4
1	171,6	100	27,5	18,1
2	40,5	45,9	27,6	27,1
3	98	28,7	39,5	65,4
4	48,9	60	37,7	27,5
5	145,7	79,4	79,9	26,5
6	92,1	63,2	37,1	26,9
7	47	26,7	32,2	76
8	86,8	39,7	11	14,3
9	92,5	79,2	20,9	15,2
10	26	27,7	26	72,2
11	77,6	58,3	56,8	9,2
12	129,2	13,4	46,9	33,1
13	73,8	129,5	17,4	20,5
14	24	22,1	41,4	33,5
15	46,9	18,5	32,2	25,3
Média	80,04	52,82	35,60667	32,72
S	43,59623	33,26096	16,88725	21,12805

As taxas de inspeção coletadas foram agrupadas por release, sendo que, para cada release foram coletadas 15 taxas (tamanho do subgrupo). Dessa forma, para obter-se os limites dos gráficos, foram calculadas as médias, um exemplo da média para o primeiro release:

$$\bar{X} = \frac{171,6 + \dots + 16,9}{15}$$

Em seguida, são calculados os desvios padrões, um exemplo do cálculo para o primeiro release a seguir:

$$S = \sqrt{\frac{(171,6 - 0,04)^2 + \dots + (46,9 - 0,04)^2}{15 - 1}}$$

Para calcular a linha central do gráfico X-Bar, é realizado o seguinte cálculo:

$$\bar{X} = \frac{80,04 + \dots + 32,72}{4}$$

Para calcular a linha central do gráfico S, é realizado o seguinte cálculo:

$$S = \frac{43,59623 + \dots + 21,12805}{4}$$

Em seguida são calculados os limites dos gráficos de controle e os gráficos são traçados, conforme a Figura 5.

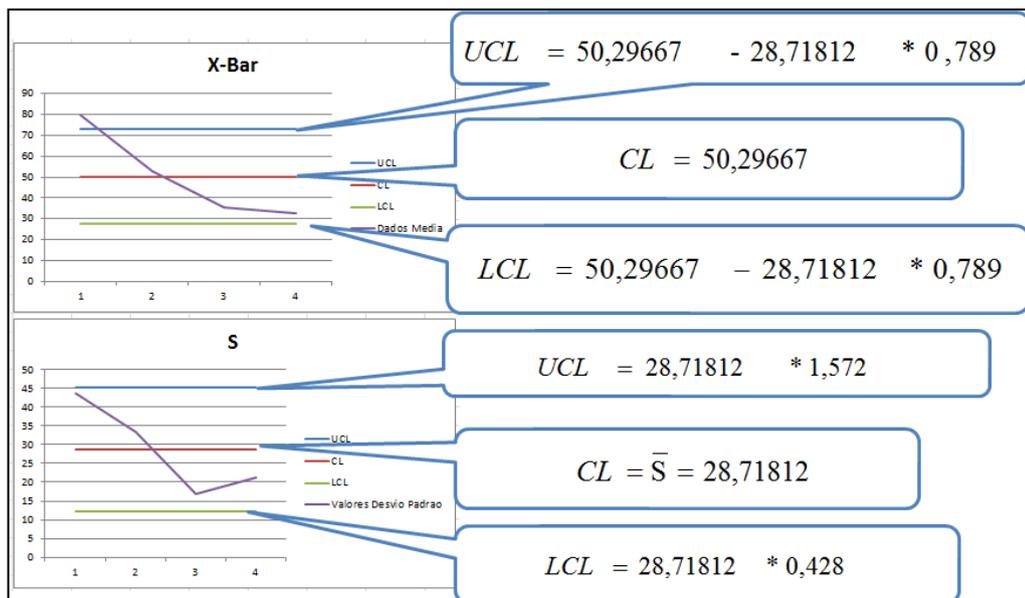


Figura 5. Gráfico de Controle X-Bar e S e Cálculo dos seus Limites e Linha Central

2.3.1.3.XmR

Segundo Wheeler e Chambers (1992), o gráfico XmR pode ser aplicado tanto para dados variáveis e por atributo. Sendo que, são adequados para analisar o comportamento de um processo quando uma mesma atividade é coletada frequentemente. Além disso, o gráfico é composto por dois gráficos: o X, que representa os valores individuais das medidas analisadas, e o mR, que representa a variação entre uma medida e sua antecessora. O gráfico XmR, também é conhecido como gráfico individual, pois utiliza subgrupos de tamanho igual a 1.

Abaixo seguem os passos para o cálculo da linha central e limites do gráfico:

1. Primeiramente deve-se calcular a média das medidas coletadas, que corresponde a linha central do gráfico X. Como os subgrupos são de apenas 1 elemento, não é necessário obter a média de cada subgrupo.
2. Depois, deve-se calcular a amplitude móvel (mR), que serve para medir as variações de medida para medida coletada, dessa forma, corresponde a diferença entre uma medida e sua antecessora.
3. Em seguida, calcula-se a amplitude móvel média (linha central do gráfico mR), que é a média de todas as amplitudes móveis calculadas (mR).

$$mR_i = |X_{i+1} - X_i|$$

$$\overline{mR} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^{i=r} mR_i$$

4. Após serem calculadas as linhas centrais de cada gráfico, deve-se encontrar o limite superior, linha central e limite inferiores dos gráficos X, como segue abaixo (para o cálculo dos limites do gráfico X, é usada a constante d2, que é obtida da Tabela 1):

$$UNPL_X = \bar{X} + \frac{3\overline{mR}}{d_2} = \bar{X} + 1,660\overline{mR}$$

$$CL_X = \bar{X} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k$$

$$UNPL_X = \bar{X} - \frac{3\overline{mR}}{d_2} = \bar{X} - 1,660\overline{mR}$$

5. Em seguida é calculado o limite superior do gráfico mR, em que é usada a constante D4, que pode ser encontrada na Tabela 1, como os subgrupos sempre serão de tamanho igual a 2, o valor sempre será 3,268. A fórmula segue abaixo:

$$CL_R = \overline{nR}$$

$$UCL_R = 3,268\overline{mR}$$

Por exemplo, um gerente de software quer analisar a variação diária do esforço despendido em atividades de manutenção. Então coleta as seguintes medidas de esforço por dia (Tabela 5):

Tabela 5. Esforço em Dias do Esforço Despendido na Atividade de Manutenção

Dia	Esforço	mR	Dia	Esforço	mR	Dia	Esforço	mR
1	50,5	7	31	46	4,9	61	50	6,6
2	43,5	2	32	41,1	3	62	43,4	4,9
3	45,5	5,7	33	44,1	2,3	63	48,3	1,9
4	39,8	3,1	34	41,8	6,1	64	46,4	3
5	42,9	1,4	35	47,9	3	65	43,4	8,9
6	44,3	0,6	36	44,9	1,5	66	52,3	7,1
7	44,9	2	37	43,4	5,6	67	45,2	3
8	42,9	3,1	38	49	3,5	68	42,2	2,6
9	39,8	0,5	39	45,5	1,9	69	44,8	2
10	39,3	9,5	40	47,4	2,6	70	42,8	7,2
11	48,8	2,2	41	50	1	71	50	3,8
12	51	6,7	42	49	6,4	72	46,2	1,2
13	44,3	1,3	43	42,6	0,9	73	47,4	5,2
14	43	8,3	44	41,7	3,2	74	42,2	4,8
15	51,3	5	45	38,5	6	75	47	0,3
16	46,3	1,1	46	44,5	2	76	47,3	2,4
17	45,2	2,9	47	46,5	4,8	77	49,7	1,7
18	48,1	2,4	48	41,7	0,9	78	48	6
19	45,7	1,6	49	42,6	0,9	79	42	1
20	44,1	3,5	50	41,7	2,1	80	41	
21	40,6	5,1	51	43,8	2			
22	45,7	6,2	52	41,8	3,7			
23	51,9	4,6	53	45,5	1			
24	47,3	0,9	54	44,5	5,9			
25	46,4	2	55	38,6	4,6			
26	44,4	4,6	56	43,2	0,6			
27	49	1,1	57	43,8	1			
28	47,9	2,4	58	44,8	1,3			
29	45,5	0,7	59	43,5	2,6			
30	44,8	1,2	60	40,9	9,1			
						Médias	45,06	3,38

Em seguida, calcula a média das medidas de esforço, a amplitude móvel de cada medida e a amplitude móvel média. Na Figura 6 são apresentados os gráficos traçados e o cálculo dos limites superiores e inferiores:

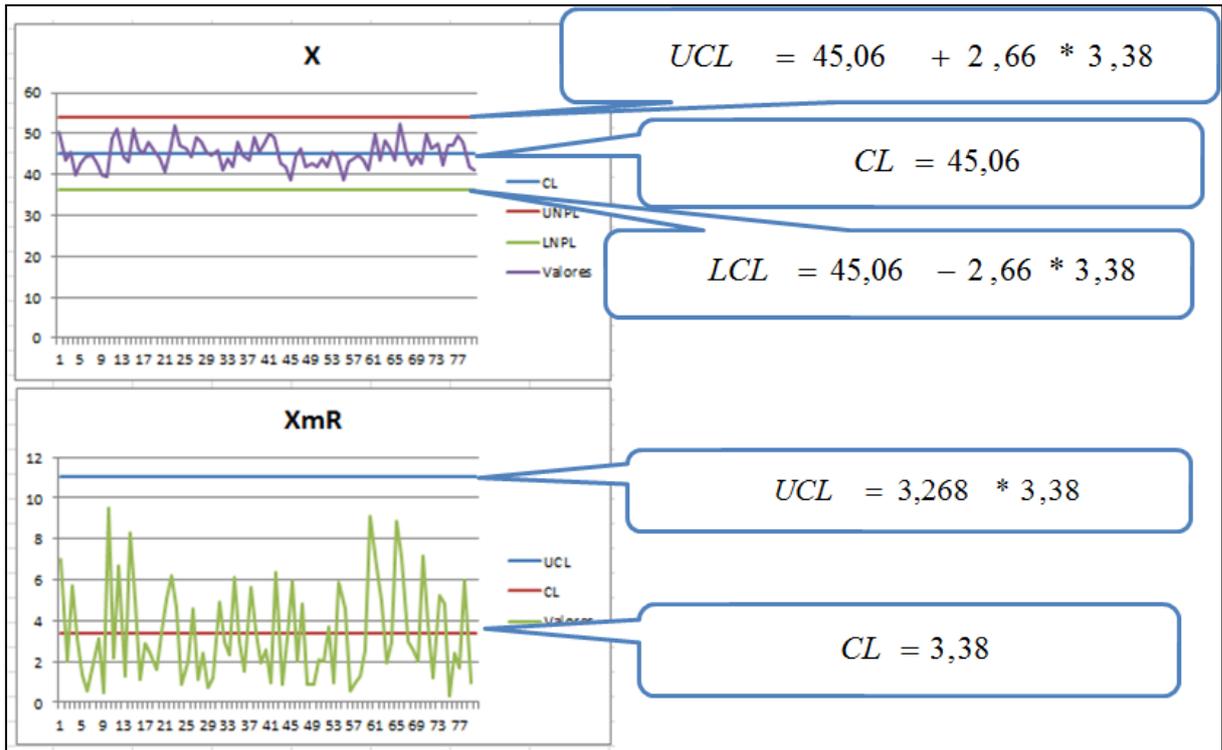


Figura 6. Gráfico de Controle XmR e o Cálculo dos seus Limites e Linha Central

2.3.1.4.XMmR

Segundo Florac e Carleton (1999), os gráficos de controle XMmR (individual e de amplitude móvel mediana) são utilizados como uma alternativa aos gráficos XmR, por serem mais sensíveis a causas especiais de variação. Sendo aplicados tanto para dados variáveis quanto por atributo.

Os seguintes passos são utilizados para calcular os limites dos gráficos de controle XMmR:

1. Primeiramente, calcula-se a amplitude móvel das medidas.
2. Em seguida, ordena-se de forma crescente as amplitudes móveis.
3. Depois, calcula-se a amplitude móvel mediana (linha central do gráfico MmR). Sendo que, se o número de observações mR for par a mediana é calculada pela média dos valores nas posições $k/2$ e $(k/2)+1$. Se for ímpar, é o número encontrado na posição $[(k-1)/2]+1$.
4. Por conseguinte, calcula-se a média dos valores individuais (linha central do gráfico X).
5. Em seguida, calcula-se os limites superiores, linha central e inferiores dos gráficos X.

$$UNPL_X = \bar{X} + \frac{3\overline{mR}}{d_4} = \bar{X} + ,145\overline{mR}$$

$$CL_X = \bar{X}$$

$$LNPL_X = \bar{X} - \frac{3\overline{mR}}{d_4} = \bar{X} - ,145\overline{mR}$$

6. Por fim, calcula-se os limites superiores, linha central e inferiores dos gráficos MmR:

$$UCL_R = \mathcal{D}_6 R = 3,865mR$$

$$CL_R = nR$$

Para exemplificar, supõe que uma gerente deseja analisar a variação diária do esforço despendido em atividades de manutenção quando, em alguns pontos, a variação do esforço entre um dia e outro é muito alta ou baixa em relação às demais, elevando ou diminuindo os limites de controle desnecessariamente. A Figura 7 mostra as medidas coletadas.

Dia	X	mR	mR Ordenado
1	11	7	1
2	4	4	1
3	8	6	2
4	14	10	3
5	24	18	3
6	6	6	3
7	12	3	4
8	9	2	4
9	7	3	5
10	4	25	6
11	29	27	6
12	2	7	7
13	9	37	7
14	46	25	7
15	21	8	8
16	29	23	9
17	6	34	10
18	40	19	18
19	21	19	19
20	2	5	19
21	7	7	22
22	14	9	23
23	5	1	24
24	6	1	25
25	5	26	25
26	31	28	26
27	3	4	27
28	7	3	28
29	4	24	34
30	28	22	37
31	6		

Figura 7. Medidas de Esforço em Atividades de Manutenção para o Gráfico XMmR

O valor da amplitude móvel media ou da linha central do gráfico MmR é igual a média entre os valores 8 e 9. O valor da linha central de X é igual à média das medidas encontradas. O gráfico de controle XMmR gerado e o cálculo dos limites e linhas centrais.

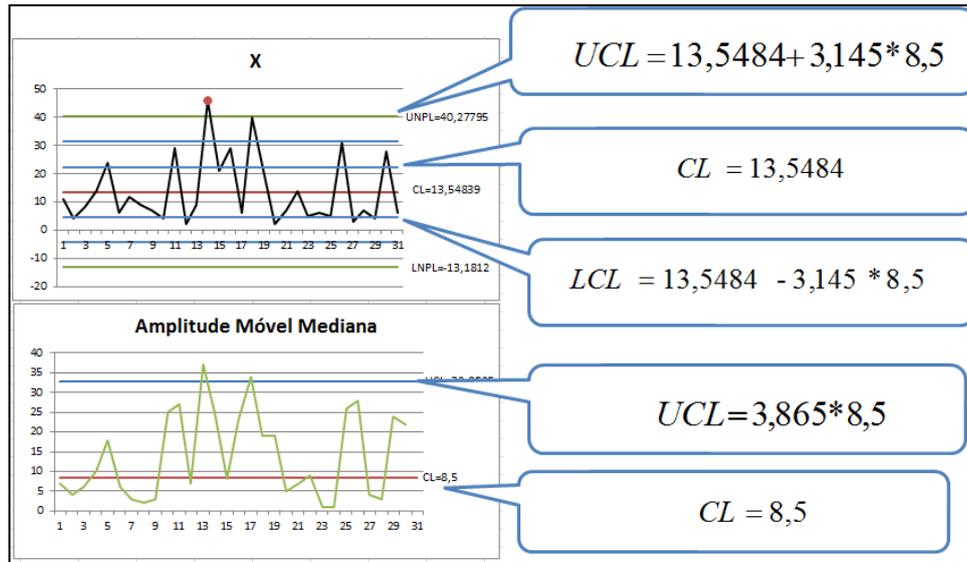


Figura 8. Gráfico de Controle XMmR

2.3.1.5.u

Segundo Wheeler e Chambers (1992), o gráfico u é adequado para representar a contagem de eventos que podem ser medidos em diferentes condições de observações. Nesses gráficos, os limites de controle superior e inferior são calculados para cada medida, pois cada uma delas é medida em condições diferentes. Os seguintes passos são usados para calcular a linha central e limites do gráfico:

1. Primeiramente, deve-se normalizar as medidas coletadas, pois não faz sentido comparar medidas com tamanho de módulos diferentes.
2. Depois, deve-se calcular a linha central para cada medida, através da formula a seguir. Onde o u é a média dos valores contados ou área de oportunidade pelo tamanho do que está sendo contado. E \bar{u} é a media dos valores de u, ou seja, a linha central.

$$u_i = \frac{c_i}{a_i}$$

$$\bar{u} = \frac{\sum c_i}{\sum a_i}$$

3. Em seguida são calculados os limites e linha central para cada medida coletada:

$$UCL_u = \bar{i} + \sqrt{\frac{\bar{u}}{a_i}}$$

$$CL_u = \bar{i}$$

$$LCL = \bar{i} - \sqrt{\frac{\bar{u}}{a_i}}$$

Para exemplificar, suponha-se que um gerente de projeto de software deseja analisar a quantidade de defeitos encontrados em um determinado software. Na Figura 9, são apresentadas as medidas coletadas para cada módulo. Já na Figura 10 é apresentado gráfico de controle traçado para o gráfico u.

Módulo	N. Defeitos	Tamanho do Módulo (SLOC)	Defeitos por KSLOC
1	19	430	44,18604651
2	8	380	21,05263158
3	3	134	22,3880597
4	6	369	16,2601626
5	9	436	20,64220183
6	4	165	24,24242424
7	2	112	17,85714286
8	4	329	12,15805471
9	12	500	24
10	8	324	24,69135802
11	6	391	15,34526854
12	6	346	17,34104046
13	2	125	16
14	8	503	15,90457256
15	8	250	32
16	3	312	9,615384615
17	12	419	28,63961814
18	6		
19	3		
20	6		
21	11		
22	2		
23	8	47	170,167
24	2	15,15151515	
25	5	20,08032129	
26	10	435	22,98850575
Total	173	8316	-

$$\bar{u} = 173/8316 = 0,0208033$$

Figura 9. Número de Defeitos Encontrados para a Geração do Gráfico de Controle u

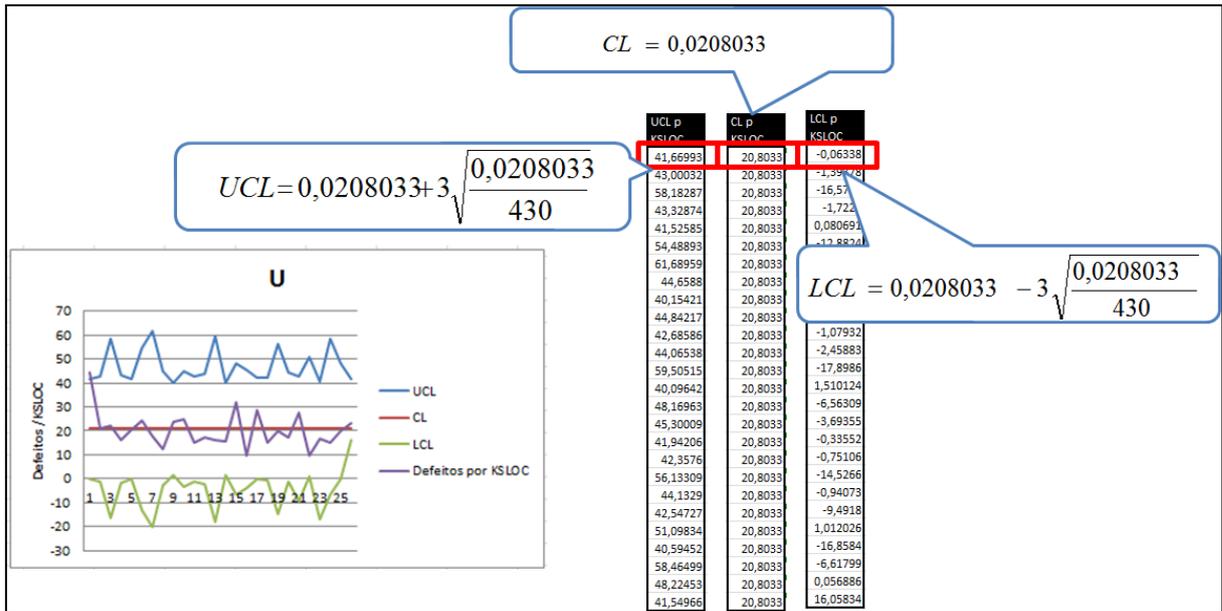


Figura 10. Gráfico de Controle u e os seus Limites e Linhas Centrais

2.3.1.6.c

Segundo Wheeler e Chambers (1992), esse tipo de gráfico de controle é adequado para representar a contagem de eventos discretos em um domínio finito, onde as oportunidades de observação são as mesmas para todos os eventos. Sendo que, o cálculo dos limites e da linha central são calculados da seguinte forma:

$$\bar{c} = \frac{\text{Total de defeitos em uma amostra}}{\text{Somada de eventos}}$$

$$UCL_c = \bar{c} + \sqrt{\bar{c}}$$

$$CL = \bar{c}$$

$$LCL_c = \bar{c} - \sqrt{\bar{c}}$$

Como exemplo, temos que um gerente de projetos de software deseja analisar a quantidade de falhas de um determinado software registradas diariamente. Na Figura 11, apresenta as medidas coletadas e o gráfico de controle c gerado.

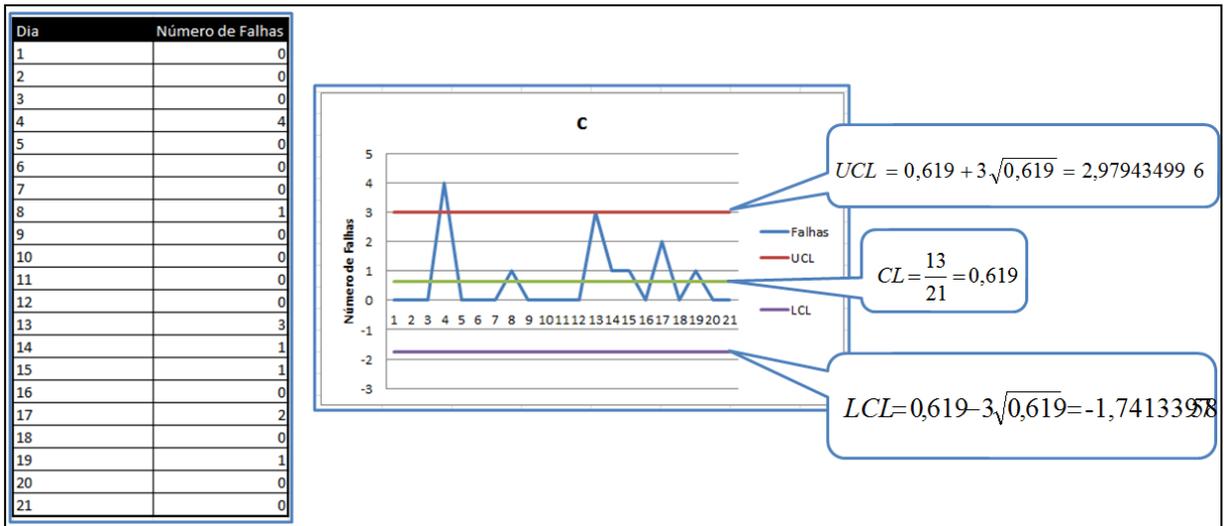


Figura 11. Medidas Coletadas e Gráfico de Controle c

2.3.2. Teste de Estabilidade de Processo

Para verificar se o processo possui causas especiais de variação, verifica-se se (vide Figura 12) [Florac e Carleton 1999]: 1) Um ponto está fora dos limites de controle de 3-sigmas; 2) Pelo menos 2 de 3 pontos sucessivos estão do mesmo lado e a mais de 2-sigmas de distância da linha central; 3) Pelos menos 4 de 5 pontos estão do mesmo lado e a mais de 1-sigma de distância da linha central; e 4) Pelo menos 8 pontos sucessivos estão do mesmo lado da linha central.

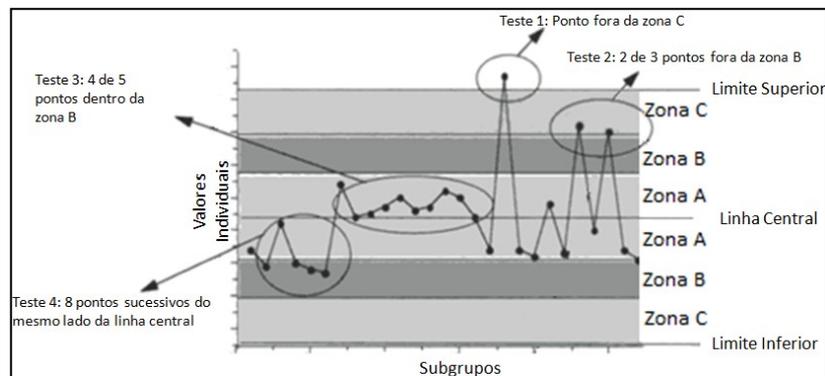


Figura 12. Testes Para Analisar a Estabilidade do Processo – adaptado de [Florac e Carleton 1999]

Sendo que Florac e Carleton (1999) indicam que os testes 2,3 e 4 sejam utilizados em gráficos de controle X-Bar, Individuais e R (amostras de tamanho 4 ou 5). E que esses teste não sejam usados em gráficos de controle: R (amostras de tamanho 2), S e Amplitude Média. Além disso, deve-se ter cuidado com o uso dos quatro testes, pois podem aumentar a sensibilidade para detecção de causas especiais e as chances de encontrarmos falsos alarmes.

Existem diversos autores que indicam que os testes sejam feitos de formas diferentes. Tais como AT&T(1956) *apud* [PQSystems, 2008], que indica que os testes para os gráficos

de controle do tipo X-bar, Individual, Mediana e R (quando o subgrupo tem no tamanho mínimo igual a 4) sejam os seguintes:

- Teste 1: 1 ponto fora dos limites
- Teste 2: 1 ponto abaixo da zona A
- Teste 3: 1 ponto abaixo da zona A
- Teste 4: 2 de 3 pontos sucessivos na zona A ou fora
- Teste 5: 2 de 3 pontos sucessivos abaixo da zona A ou fora
- Teste 6: 4 de 5 pontos sucessivos acima da zona B ou fora
- Teste 7: 4 de 5 pontos sucessivos abaixo da zona B ou fora
- Teste 8: 8 pontos acima da linha central
- Teste 9: 8 pontos abaixo da linha central
- Teste 10: 15 pontos em uma linha na zona C (acima ou abaixo do centro)
- Teste 11: 8 pontos em ambos os lados do centro
- Teste 12: 14 pontos em uma linha alternando de cima para baixo
- Teste 13: 6 pontos em uma tendência crescente ou decrescente

Além disso, indica que o teste para os gráficos de controle S, Média Móvel, Amplitude Móvel:

- Teste 1: 1 ponto fora dos limites
- Teste 2: 1 ponto acima da Zona A
- Teste 3: 1 ponto abaixo da Zona A

E que o teste para os gráficos de controle c, u sejam:

- Teste 1: 1 ponto fora do controle
- Teste 2: 1 ponto acima da Zona A
- Teste 3: 1 ponto abaixo da Zona A
- Teste 4: 9 pontos em uma linha acima da linha central
- Teste 5: 9 pontos na linha abaixo da linha central
- Teste 6: 6 pontos em uma tendência crescente ou decrescente
- Teste 7: 14 pontos em uma linha alternando de cima para baixo

Já Duncan (1986) indica que os testes sejam os seguintes:

- Teste 1: 1 ponto fora do controle
- Teste 2: 7 pontos consecutivos do mesmo lado da linha central
- Teste 3: 2 de 3 pontos consecutivos na zona B e do mesmo lado.

- Teste 4: 4 de 5 pontos consecutivos na zona A e do mesmo lado.

Além disso, um fator importante a se considerar para se verificar a estabilidade dos gráficos de controle é a quantidade de dados necessária a ser medida. A quantidade de dados coletados frequentemente determina tanto o número de subgrupos que são possíveis e o tamanho dos subgrupos. Dessa forma, para detecção de causas especiais, enquanto o processo não se estabiliza, deve-se obter 3 ou 4 subgrupos, com n (tamanho do subgrupo) a partir de 1. E, para concluir se um processo é estável ou quase, deve-se ter pelo menos de 20 a 30 subgrupos e 40 a 45 valores individuais [Wheeler e Chambers 1992].

Se a quantidade de dados utilizadas nos gráficos de controle forem suficientes e verifica-se que o processo está estável, deve-se estabelecer as *baselines* de desempenho do processo (seção 2.3.3). Caso contrário deve-se investigar as causas especiais (seção 2.3.4).

2.3.3. Baseline de Desempenho do Processo

A *baseline* de desempenho do processo deve ser estabelecida quando o processo está estável, ou seja, suas variações estão dentro dos limites recomendados, não existem anomalias e existem a quantidade de medidas suficientes para a verificação da estabilidade do processo [Florac e Carleton 1999], [Wheeler e Chambers 1992]. Uma *baseline* de desempenho descreve o desempenho atual do processo e com quais os limites deve-se realizar comparações em próximas execuções do processo.

Uma *baseline* de desempenho deve ter as seguintes informações relacionadas ao processo e indicador ao qual se refere à *baseline*: os limites superior e inferior e linha central, os dados de contexto (se a *baseline* está sendo alterada deve ser informado o motivo da alteração), o responsável pelo registro, o período dos dados, o(s) projeto(s) a que se referem à *baseline* [Barcellos 2009],[Boffoli *et al.* 2010], [Campos *et al.* 2007], [SEI 2010], [Florac e Carleton 1999], [Kulpa e Johnson 2004], [Montoni *et al.* 2007], [SOFTEX 2012a], [Wang *et al.* 2006], [Wheeler e Chambers 1992].

2.3.4. Causas Comuns e Causas Especiais

Segundo Shewhart (1931) as causas comuns são fenômenos naturais e inerentes ao processo e que os resultados são comuns às medidas de um dado produto, pessoa, máquina, ambiente e método, ou seja, provocam desvios dentro de um limite aceitável para o comportamento do processo. Como exemplos de causas comuns de variação tem-se a habilidade de pessoas, métodos utilizados nos processo, entre outros.

Já as variações de causas especiais são variações no desempenho do processo devido a eventos que não sejam normais ao processo. As causas especiais provocam desvios que excedem os limites estabelecidos para a variação do comportamento do processo. Sendo que, a remoção dessas causas leva a ajustes no processo. As causas especiais são também chamadas de atribuíveis, pois podem ser identificadas, analisadas e utilizadas como diretrizes para prevenção de ocorrências futuras [SOFTEX 2012a]. Como exemplo de causas especiais temos: problemas com ferramentas de apoio às atividades de requisitos e profissionais inexperientes.

2.4. Medição, Gerência Quantitativa e Controle Estatístico de Processo nas Normas e Modelos de Melhoria de Processo.

As subseções a seguir apresentam como alguns trabalhos tratam medição, gerência quantitativa e controle estatístico do processo.

2.4.1.MR-MPS-SW

O MR-MPS-SW [SOFTEX 2012b] trata de medição no nível F de maturidade (Gerenciado) tendo como propósito guiar a coleta, armazenamento, análise e relato dos resultados da medição dos produtos e processos da organização e em seus projetos, de forma a apoiar os objetivos organizacionais e a gerência de projetos. Já o controle estatístico de processo é tratado no nível B de maturidade através dos atributos do processo AP4.1 e AP4.2, que apresentam como os projetos podem ser gerenciados utilizando técnicas quantitativas e estatísticas para analisar os processos da organização auxiliando na melhoria desses processos, através da análise da estabilidade deles, criação dos modelos de desempenho, análise de causas de defeitos e outros problemas, aplicação de ações corretivas e preventivas e implantação de melhorias.

2.4.2.CMMI

O CMMI [SEI 2010] aborda medição no nível 2 de maturidade através da área chave do processo de medição e análise, em que é realizado o plano de medição baseado em objetivos de medição e os resultados são analisados, armazenados e comunicados. O controle estatístico é requerido no nível 4 de maturidade, através da área de processo de gerência quantitativa de projetos, em que a análise quantitativa é realizado através da: (i) preparação da gerência quantitativa, com o estabelecimento dos objetivos do projeto, seleção dos subprocessos e seleção das medidas e técnicas analíticas; e (ii) gerência quantitativa do projeto, em que é

indicada as atividades necessárias para que ocorra o acompanhamento e monitoração dos processos selecionados, gerenciamento do desempenho desses projetos e análise das causas raízes encontradas.

2.4.3.PSM (*Practical Software Measurement*)

O padrão PSM (McGarry et al., 2002), estabelece um processo de medição que foca a implementação da medição no nível dos projetos e abrange as seguintes atividades: definição de medidas, a coleta, o armazenamento e a análise de dados visando atender às necessidades de informação do projeto. Com relação ao CEP e a gerência quantitativa, o padrão não menciona práticas específicas.

2.4.4.IEEE *Std* 1061-1998

A IEEE Std 1061-1998 (1998) apresenta um *framework* para métricas de software, que é composto por níveis de fatores de qualidade, subfatores de qualidade e métricas. Cada nível pode ser expandido para subníveis. Dessa forma, o framework pode ser aplicado e adaptado para todos os sistemas sem alteração em seus conceitos básicos.

Além disso, apresenta uma metodologia para aplicação de métricas de qualidade de software. Essa metodologia é composta pelas seguintes fases: estabelecimento de requisitos de qualidade de software, identificação das métricas de qualidade de software, implementação das métricas de qualidade de software, análise dos resultados das métricas, e validação das métricas de software.

Na última fase da metodologia existem conceitos de controle estatístico de processo, como, avaliação da estabilidade do ambiente. Nessa fase é realizada a comparação dos valores coletados com os requisitos de validação estabelecidos, identificação das causas especiais, realização de melhorias e coleta e análise dos dados novamente. Se os dados estiverem dentro limites estabelecidos, o ambiente está estável e os dados de desempenho devem ser usados para prever projetos futuros.

2.4.5.GQM

O GQM é um paradigma orientado a objetivos, pois afirma que o processo de medição deve ser guiado pelo que se deseja medir e não pelas métricas a serem medidas. Segundo Soligen e Berghout (1999), a aplicação do GQM possui 4 etapas: planejamento, onde ocorre a seleção do que será mensurado e planejamento do projeto de medição; definição, na qual as metas, questões e métricas são definidas e documentadas; coleta de dados; interpretação, onde

os dados coletados são analisados para responder as questões, e as respostas encontradas são analisadas para verificar o alcance das metas estabelecidas. Com relação ao CEP e a gerência quantitativa, não menciona etapas específicas.

2.4.6.GQ[I]M

O paradigma GQ[I]M (*Goal-Driven Software Measurement*) é um considerado como uma extensão do GQM. Sendo que, seu objetivo é auxiliar a seleção de métricas de apoio ao alcance às metas de negócio da organização, mantendo a rastreabilidade entre métricas e metas de negócio para que os esforços de medição não sejam desviados de seus propósitos de origem.

O paradigma GQ[I]M é composto dos seguintes passos [Park *et al.*, 1996]: identificar metas de negócio, identificar o que se deseja aprender, identificar submetas para refinar as metas de negócio, identificar entidades e atributos relacionados com as submetas, formalizar metas de medição, identificar questões quantitativas e indicadores relacionados que auxiliem a o alcance das metas de medição, identificar os elementos de dados que serão coletados para construir os indicadores, definir e padronizar as medições que serão usadas, identificar as ações que serão tomadas para implementar as medições, preparar um plano para a implementação das medições. Com relação ao CEP e à gerência quantitativa, não menciona passos específicos.

2.5. Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo apresentou uma visão geral sobre alguns conceitos de medição e controle estatístico de processo de software utilizados como base para o desenvolvimento desse trabalho.

Capítulo 3 - Processo-padrão para Apoio ao Controle Estatístico de Processo

Este capítulo apresenta um processo-padrão para controle estatístico de processo de software proposto para auxiliar as organizações na sua implementação.

3.1. Requisitos para Apoiar o CEP

Através de uma revisão da literatura para identificar problemas e dificuldades na realização do CEP no processo de software foram encontrados diversos problemas descritos em [Barcellos 2009], [Fenton e Neil 1999], [Komuro 2006], [Wang 2007], dentre outros. A maioria dos problemas relatados está relacionada:

- À falta de orientação de como o controle estatístico de processo de software deve ser realizado ou entendimento de quais atividades devem ser realizadas;
- Ao rigor como as métricas devem ser coletadas e validadas;
- À obtenção dos dados de contexto relacionado às métricas;
- À falta de um repositório de métricas, pois no controle estatístico de processo de software é necessário um volume grande de métricas para que os gráficos de controle gerados sejam utilizados para a verificação da estabilidade do processo analisado. Dessa forma, pode ser difícil manter os dados coletados sem um repositório apropriado e adequado;
- Ao esforço despendido na utilização das técnicas estatísticas;
- À manutenção da rastreabilidade entre as várias atividades dentro do processo de controle estatístico, tais como:
 - Os objetivos de negócio relacionados com os subprocessos críticos (a serem controlados estatisticamente), os objetivos de medição e quantitativos, os indicadores e as métricas;
 - As medidas coletadas de acordo com o que sendo descrito no plano de medição;
 - O agrupamento das métricas está sendo realizada conforme o planejado;
 - Os problemas encontrados em processos instáveis com os pontos de instabilidade dos gráficos de controle;
 - As causas especiais relacionadas a problemas;
 - As ações de melhoria com causas especiais, para que se tenha a visão de que ações eliminam quais causas especiais e resolvem quais problemas;

- As atividades do processo de melhoria mapeadas com as ações de melhoria;
- A *baseline* de desempenho relacionada com o processo controlado e limites de desempenho encontrados.

Este contexto motivou a criação de um processo-padrão para organizar e explicar as atividades relacionadas ao CEP, bem como o desenvolvimento de uma ferramenta que abranja as atividades do processo estabelecido. O texto a seguir apresenta os requisitos para o processo de controle estatístico de processo de software por organizações e o processo-padrão proposto. O Quadro 2 apresenta o resumo dos principais requisitos que foram levantados na literatura para a definição do processo de implementação do CEP.

Quadro 2. Tabela de Requisitos para CEP

Id	Requisitos	Referência
R1	O processo de CEP deve permitir que a medição seja planejada, através da: identificação dos objetivos de negócio e de medição, a seleção dos subprocessos críticos, a definição de questões, indicadores estatísticos e métricas.	[Florac e Carleton 1999], [Park <i>et al.</i> 1996], [Barcellos 2009], [SEI 2010], [SOFTEX 2011a].
R2	O processo de CEP deve permitir que seja especificado um mecanismo para seleção dos projetos e as entidades similares que serão usados no CEP.	[Barcellos 2009], [Florac e Carleton 1999].
R3	O processo de CEP deve permitir que a execução da medição para o CEP seja executada conforme o planejado.	[Florac e Carleton 1999]
R4	O processo de CEP deve permitir que na análise das métricas coletadas devam ser gerados os gráficos de controle, conforme o planejado. A estabilidade dos processos e as anomalias, caso existam, devem ser verificadas através de testes de estabilidade.	[Barcellos 2009],[Florac e Carleton 1999], [Wheeler e Chambers 1992]
R5	O processo de CEP deve permitir que caso o processo analisado esteja estável e haja uma quantidade de dados suficiente, seja estabelecida uma <i>baseline</i> de desempenho do processo.	[Barcellos 2009],[Boffoli <i>et al.</i> 2010], [Campos <i>et al.</i> 2007],[SEI 2010], [Florac e Carleton 1999] ,[Montoni <i>et al.</i> 2007],[SOFTEX 2011a], [Wang <i>et al.</i> 2006], [Wheeler e Chambers 1992]
R6	O processo de CEP deve permitir que caso o processo apresente instabilidades, seja registrado os problemas, as causas especiais relacionadas a eles e as ações a serem realizadas para eliminar as causas.	[Barcellos 2009],[Boffoli <i>et al.</i> 2010], [Campos <i>et al.</i> 2007],[SEI 2010],[Florac e Carleton 1999], [Montoni <i>et al.</i> 2007], [SOFTEX 2011a],[Wang <i>et al.</i> 2006], [Wheeler e Chambers 1992]
R7	O processo de CEP deve permitir que sejam acompanhadas as melhorias realizadas para verificar se os problemas foram solucionados.	[Florac e Carleton 1999]
R8	O processo de CEP deve permitir que caso o processo esteja estável, seja definido os modelos de desempenho do processo para a realização de estimativas nos processos, com base nos dados da <i>baseline</i> de desempenho estabelecida.	[Campos <i>et al.</i> 2007],[SEI 2010],[Florac e Carleton 1999], [Montoni <i>et al.</i> 2007], [Wheeler e Chambers 1992]
R9	O processo de CEP deve permitir que caso o processo esteja estável, seja verificado se o processo é capaz de alcançar os objetivos e metas estabelecidas.	[Campos <i>et al.</i> 2007],[SEI 2010],[Florac e Carleton 1999], [Wheeler e Chambers 1992]

3.2. Processo-padrão de Medição e Controle Estatístico de Processo de Software

A seguir é descrita a estrutura utilizada para apresentar o processo-padrão e seus componentes. O processo é apresentado de forma textual e visual, sendo que o formato textual

foi adaptado do modelo utilizado no CMMI [SEI 2010] e o formato visual utilizou a linguagem de modelagem de processos usada pelo ambiente WebAPSEE [Lima Reis, 2003].

3.2.1. Descrição do Processo

O processo descrito a seguir está organizado em atividades e subatividades (conforme Figura 13). As atividades (AT) são organizadas de forma textual como segue:

- (i) Introdução, que apresenta o resumo teórico da atividade;
- (ii) Propósito, que mostra o objetivo e resultados que devem ser alcançados em cada atividade.

A descrição textual das subatividades (SA) está organizada da seguinte forma:

- (i) Procedimento, que expõe a metodologia a ser utilizada para a realização da subatividade;
- (ii) Recomendação, que mostra dicas de como realizar cada subatividade;
- (iii) Dependência, que apresenta as dependências de cada subatividade para que ela possa ser realizada com êxito;
- (iv) Exemplos: são exemplos que ilustram a relacionamento de cada subatividade.

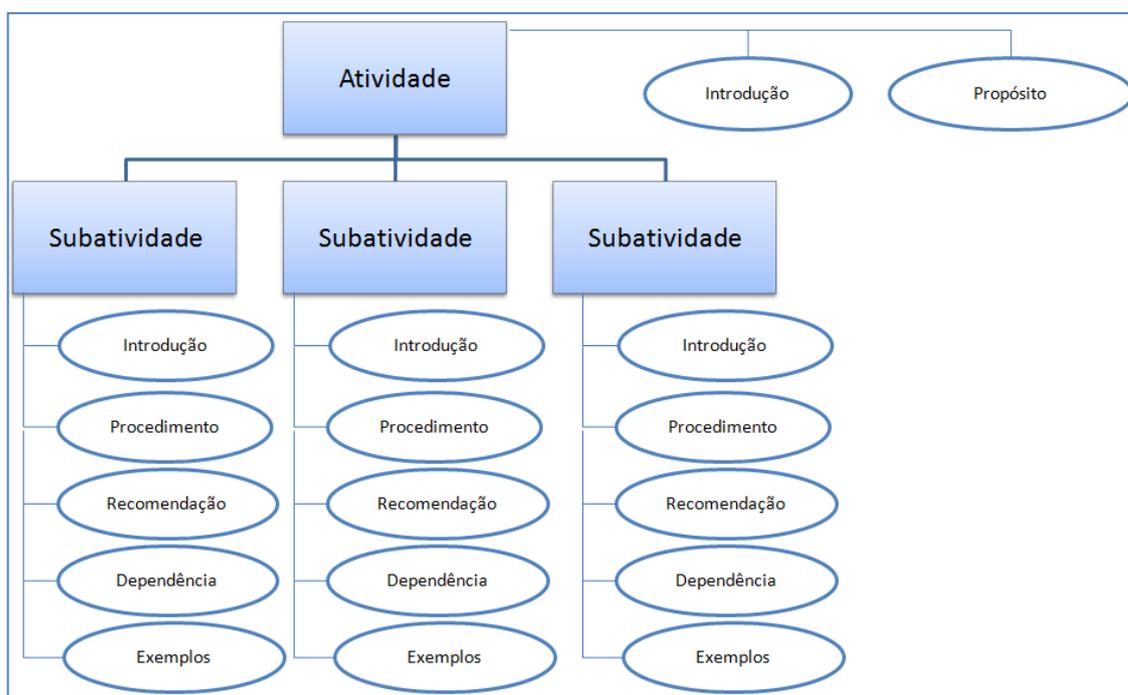


Figura 13. Organização Textual do Processo-padrão

Já o formato visual utiliza a notação da linguagem de modelagem de processos usada pelo ambiente WebAPSEE, que é resumida pela Figura 14, em que mostra como são representadas as atividades do processo, as conexões que definem as dependências entre as

atividades, os agentes e grupos de agentes responsáveis pela execução das atividades, os artefatos produzidos pelas atividades e recursos necessários para a execução das atividades.

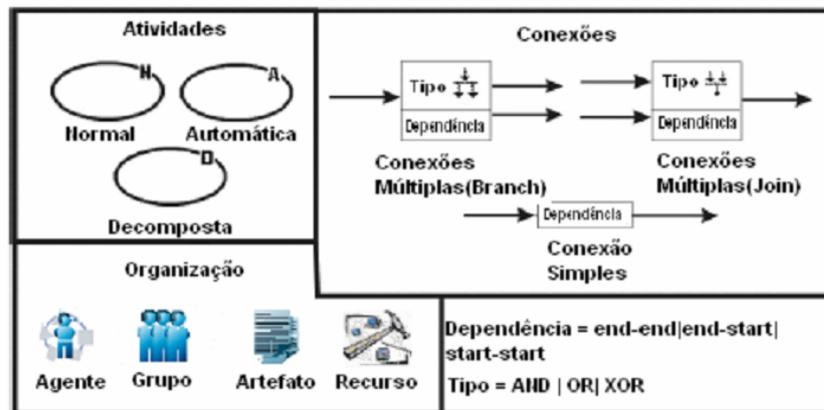


Figura 14. Representação Gráfica para as Principais Construções da Linguagem de Modelagem de Processo do WebAPSEE [Lima Reis, 2003]

3.2.2. Processo-padrão para Implantação da Medição de Software e Controle Estatístico de Processos de Software

O processo-padrão para implantação da medição e controle estatístico de processos de software (CEP) pretende servir de arcabouço para organizações que desejem definir e executar o processo de CEP, ou seja, prover informações específicas e necessárias para realização do processo de CEP em uma organização.

Com base na lista de requisitos descrita anteriormente foram definidas 4 atividades (Figura 15) que compõem o processo para implementação do CEP. Essas atividades são: (AT1) planejar medição para o CEP, (AT2) coletar as métricas, (AT3) analisar os resultados, e (AT4) estabilizar e controlar o processo.

O processo de controle estatístico de processo de software (CEP) inicia com o planejamento da medição, em seguida são realizadas as coletas das métricas (conforme planejado), por conseguinte são analisados os resultados obtidos e verificada a estabilidade do processo. Por fim, caso o processo esteja estável, deve-se estabelecer uma *baseline* e modelos de desempenho, e verificado se o processo é capaz ou não de alcançar seus objetivos. Nesse caso, a organização pode decidir melhorar seus processos e fazer um novo ciclo de medição de CEP.

Caso o processo esteja instável, a organização deve investigar os problemas e causas desses problemas e eliminá-los através de ações de melhoria. Para a verificação se os problemas foram eliminados, projetos pilotos devem ser executados e um novo ciclo de medição e CEP deve ser executado. A seguir são apresentadas, com detalhes, cada uma das atividades do processo-padrão proposto.

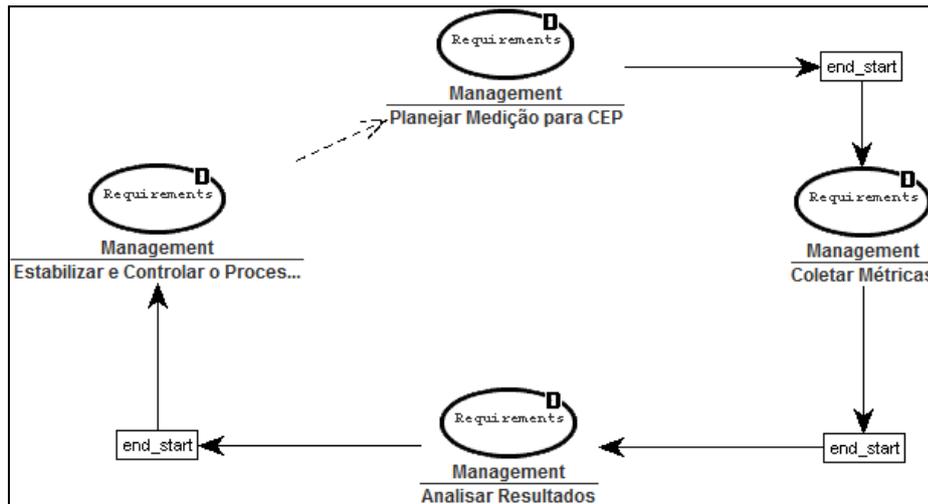


Figura 15. Processo-padrão para Implantação da Medição e CEP

AT 1 Planejar Medição para o CEP

I. Introdução

O primeiro passo para o estabelecimento da medição e do CEP é a identificação adequada das métricas a serem coletadas. Essa definição deve ser feita com base em critérios bem fundamentados, devido ao grande número de opções possíveis e ao custo envolvido na coleta de cada informação.

Com intuito de guiar o processo de definição das métricas, várias metodologias foram propostos, como *Goal-Question-Metric* (GQM) [Basili 1992], *Goal-Driven Software Measurement* (GQ[I]M) [Park *et al.* 1996] e *Practical Software and System Measurement* (PSM) [Mcgarry *et al.* 2002].

Cada uma dessas metodologias define maneiras de se estabelecer as métricas mais apropriadas para serem analisadas, com o intuito de se verificar se os objetivos de medição ou objetivos da organização ou necessidades de informação estão sendo alcançados ou supridos.

Para a realização da atividade AT1, foi utilizada uma adaptação da abordagem GQIM, pois o objetivo dele é auxiliar a seleção de métricas de apoio ao alcance às metas de negócio da organização. Dessa forma, manter a rastreabilidade entre as métricas e metas de negócio, para que os esforços de medição não sejam desviados de seus propósitos de origem.

Essa abordagem estabelece que o planejamento da medição deva definir: objetivos de negócio, objetivos de medição, questões, indicadores e métricas. Além dessas definições, Florac e Carleton (1999) apresentam a necessidade de se estabelecer quais os processos serão controlados estatisticamente.

A Figura 16 e Figura 17 apresentam as subatividades que fazem parte da atividade de planejamento da medição. Primeiramente devem-se definir os objetivos de negócio ou necessidades de informação. Com base nisso são identificados os subprocessos críticos que podem estar relacionados a um ou mais objetivos de negócio. Essas informações iniciais servirão de insumo para a definição dos objetivos de medição e de suas respectivas questões a serem respondidas a partir da análise de indicadores que também deverão ser inicialmente planejados. Por fim, as métricas serão definidas conforme os indicadores previamente planejados.

Caso o CEP utilize métricas em mais de um projeto dentro da organização (Figura 17), deve-se verificar a similaridade entre esses projetos e a similaridade entre as entidades medidas. Caso o CEP utilize métricas de apenas um projeto (Figura 16), deve-se verificar a similaridade apenas das entidades medidas. É importante notar que existem duas atividades, denominadas como acessórias, que apoiam o planejamento da medição na identificação de projetos e entidades similares.

I. Propósito

O propósito dessa atividade é identificar as métricas a serem coletadas. Para isso elas devem estar alinhadas aos: objetivos de negócio da organização, subprocessos críticos, objetivos de medição, questões e indicadores. Além disso, deve-se planejar como as métricas serão coletadas, armazenadas e como devem ser analisados os indicadores definidos.

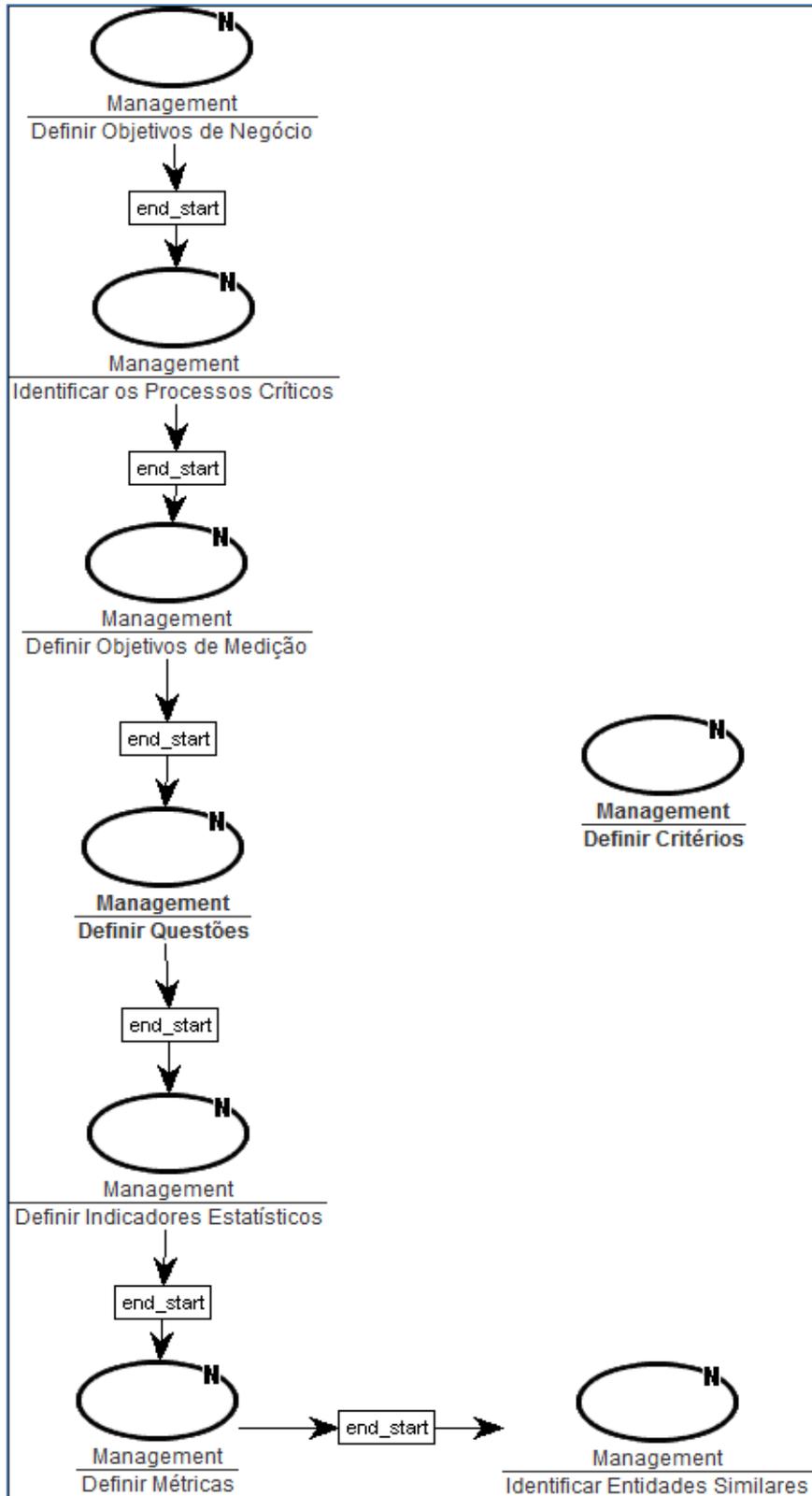


Figura 16. Subatividades para o Planejamento de Medição para o CEP para um Projeto

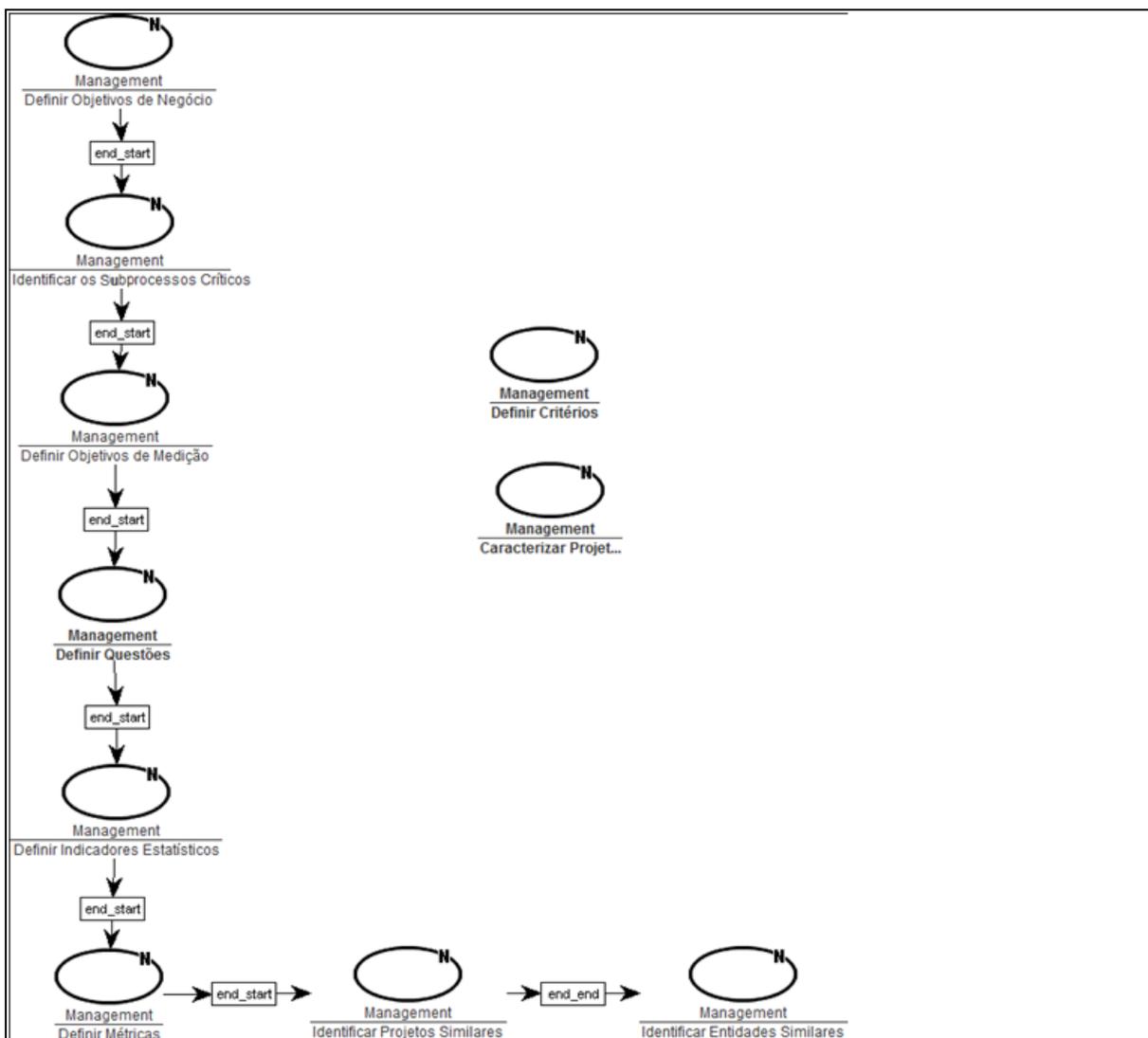


Figura 17. Subatividades para o Planejamento de Medição para o CEP para Vários Projetos da Organização

SA1.1 Definir Objetivos de Negócio

I. Introdução

Segundo Park *et al.* (1996), as atividades de medição devem estar alinhadas aos objetivos de negócio da organização para que os resultados da análise sirvam de apoio a tomadas de decisão na organização.

Segundo Florac e Carleton (1999), as metas de negócio são objetivos que a organização deseja alcançar, mas que não necessariamente estão relacionados aos atributos mensuráveis do processo de software.

II. Procedimento

Para identificar os objetivos de negócio deve-se realizar os seguintes procedimentos: (i) levantamento dos objetivos de negócio da organização, através da experiência organizacional,

resultado de reuniões com a alta gerência ou através de documentação da organização sobre possíveis restrições da empresa ou metas a serem alcançadas pela organização; (ii) documentação das metas de negócio; (iii) validação das metas de negócio perante a gerência, que pode ser realizada em uma reunião de apresentação desses objetivos com a alta gerência e formalizada através de um termo de aceite ou ata da reunião assinados pelos participantes da reunião; e (iv) estabelecimento das prioridades entre os objetivos de negócio.

III. Recomendação

Para a realização dessa atividade a alta gerência da organização deve se envolver apoiando e definindo os objetivos de negócio que devem ser verificados durante a medição. Além disso, os objetivos definidos devem ser priorizados conforme a dificuldade de alcançá-los e se estão relacionados a processos padrões definidos na organização.

IV. Dependência

A principal dependência dessa subatividade é em relação à disponibilidade da alta gerência para a definição e validação dos objetivos de negócio.

V. Exemplos

Como exemplo tem-se: aumentar a qualidade dos produtos produzidos.

SA1.2 Identificar os Subprocessos Críticos

I. Introdução

Segundo Florac e Carleton (1999), os subprocessos críticos são processos que devem ter sua estabilidade avaliada. Muitas vezes a escolha desses processos está diretamente ligada ao alcance de uma meta de negócio ou de um projeto específico. Dessa forma, medir, analisar e controlar esse processo é importante para identificar possíveis problemas e causas especiais que possam estar impedindo que essas metas sejam cumpridas. Assim, a identificação desses processos deve levar em consideração os objetivos de negócio definidos. Sendo que, após a documentação de quais processos devem ser medidos para o CEP, deve-se validar o resultado com os respectivos responsáveis.

II. Procedimento

Para a seleção de quais processos devem ser controlados estatisticamente, deve-se: (i) verificar quais processos da organização impactam ou causam impacto no alcance dos

objetivos de negócio; (ii) selecionar os subprocessos críticos com base nos objetivos de negócio priorizados; (iii) priorizar os subprocessos que serão controlados estatisticamente; (iv) documentar os subprocessos selecionados; e (v) validar os subprocessos críticos selecionados e priorizados.

III. Recomendação

Para a realização dessa atividade é importante também envolver a gerência na identificação e priorização de quais processos devem ser controlados estatisticamente. Essa priorização deve levar em consideração alguns fatores, tais como: recursos necessários para a coleta em determinado processo e custo na realização do controle estatístico. Além disso, segundo [SOFTEX, 2012] e [Cerdeiral et al., 2007], em organizações que estão iniciando a implementação do processo de controle estatístico de processo, deve-se optar por aplicá-lo em poucos processos e naqueles que estão relacionados aos objetivos de negócio mais prioritários, já que o CEP é um processo custoso de ser realizado.

Os processos que serão escolhidos para serem controlados estatisticamente devem estar entre os processos- padrão definidos pela organização. Como um processo padrão pode ter versões diferentes sendo executadas em diferentes projetos, devem-se selecionar além dos processos as versões dos processos que serão controladas estatisticamente.

IV. Dependência

Uma das principais dependências dessa atividade é a organização possuir processos padrões definidos e implantados. Outra dependência são os objetivos de negócio estarem definidos, pois a escolha dos processos deve estar alinhada a esses objetivos.

V. Exemplos

Um exemplo de subprocesso crítico alinhado ao objetivo de negócio do exemplo anterior é o de teste de software (Quadro 3). Se a organização possuir várias versões do processo-padrão de teste, deveria ser especificado no planejamento qual a que deve ser utilizada no CEP.

Quadro 3. Exemplo de Subprocesso Crítico

Objetivo de Negócio	Aumentar a qualidade dos produtos produzidos
Subprocesso Crítico	Teste de software
Versão	1.1

SA1.3 Definir Objetivos de Medição

I. Introdução

Os objetivos de medição são metas ou resultados que a medição deve obter através da sua análise. Após a definição das metas de negócio e da identificação do subprocesso crítico, deve-se definir e documentar quais serão os objetivos da medição. Segundo Barcellos (2009), é importante que esses objetivos estejam alinhados aos objetivos de negócio e aos subprocessos críticos.

II. Procedimento

Os procedimentos para realização dessa subatividade são os seguintes: (i) identificar os objetivos de medição para os subprocessos críticos identificados; e (ii) validar os objetivos de medição junto à alta gerência.

III. Recomendação

Como recomendação para realização dessa atividade é que antes de iniciar o estabelecimento dos objetivos de medição, deve-se entender e analisar os objetivos de negócio estabelecidos e as suas prioridades. Além disso, é importante estabelecer objetivos de medição alinhados aos subprocessos críticos que serão analisados estatisticamente.

A descrição dos objetivos de medição pode ser realizada utilizando o padrão definido por [Basili e Rombach 1988] e apresentado no Quadro 4.

Quadro 4. Exemplo de Descrição dos Objetivos de Medição [Basili e Rombach 1988]

Proposta	Analisar o(a) _____ (objeto: processo, produto) Com a intenção de _____ (razão: conhecer, avaliar, prever, melhorar)
Perspectiva	o(a) _____ (foco: custo, correção, confiabilidade, etc) do ponto de vista do(a) _____ (quem: usuário, cliente, desenvolvedor, gerente, etc)
Ambiente	no seguinte contexto _____ (descrever o ambiente)

IV. Dependência

Esta subatividade possui dependências em relação à identificação dos objetivos de negócio e definição dos subprocessos críticos.

V. Exemplos

O Quadro 5 apresenta um exemplo de estabelecimento do objetivo de medição.

Quadro 5. Exemplo de Objetivo de Medição

Objetivo de Negócio	Aumentar a qualidade dos produtos produzidos
Subprocesso Crítico	Teste de software
Versão	1.1
Objetivo de Medição	Analisar o processo de teste, com a intenção de verificar a quantidade de defeitos encontrados durante os testes realizados no produto do ponto de vista da gerência no contexto de desenvolvimento de software.

SA1.4 Definir Questões

I. Introdução

Segundo Florac e Carleton (1999), após a definição dos objetivos de medição deve-se identificar as questões críticas a serem investigadas nos subprocessos críticos selecionados e, então, através da sua análise, identificar possíveis problemas nestes processos. Sendo que essas questões devem estar relacionadas aos objetivos de medição.

II. Procedimento

Para a definição das questões, devem-se realizar os seguintes procedimentos: (i) analisar os objetivos de medição estabelecidos anteriormente; e então (ii) identificar as questões que devem ser investigadas para o alcance de cada objetivo de medição.

III. Recomendação

A principal recomendação é que a definição das questões esteja alinhada aos objetivos de medição. Além disso, as questões devem ser estabelecidas levando em consideração o que deve ser investigado, conhecido e analisado para que sejam identificados possíveis problemas que estão impedindo as metas organizacionais de serem alcançadas.

IV. Dependência

Essa subatividade tem como dependência que os objetivos de medição estejam definidos.

V. Exemplos

O Quadro 6 apresenta um exemplo de questão definida.

Quadro 6. Exemplo de Questão de Medição

Objetivo de Negócio	Aumentar a qualidade dos produtos produzidos
Subprocesso Crítico	Teste de software
Versão	1.1
Objetivo de Medição	Analisar o processo de teste, com a intenção da quantidade de defeitos encontrados, durante os testes realizados no produto, do ponto de vista da gerência. No contexto de desenvolvimento de software.
Questão	Qual a densidade de defeitos encontrados em determinado release de um produto?

SA1.5 Definir Indicadores Estatísticos

I. Introdução

A atividade de definição dos indicadores tem como objetivo estabelecer indicadores estatísticos que devem ser analisados para que possam prover informações referentes às questões definidas, com o intuito de fornecer subsídio para tomadas decisão, de modo a identificar o alcance dos objetivos de negócios ou a identificação de problemas que impedem o alcance desses objetivos. Os indicadores são geralmente representados por tabelas e/ou gráficos, tais como, linha, barra, gráfico de controle, entre outros.

No CEP, para a representação e análise das medidas coletadas são utilizados os gráficos de controle. Segundo Wheeler e Chambers (1992) e Florac e Carleton (1999), existem diversos tipos de gráficos de controle e cada um pode ser utilizado em determinada situação.

O primeiro passo, para definir qual o gráfico de controle deve ser utilizado, é identificar qual o tipo de medida será coletada. Florac e Carleton (1999) divide os gráficos aplicados a tipos de: medidas variáveis (X-Bar e R, X-Bar e S, XmR, XMmR) e medidas por atributo (u, c, z, XmR e XmMR). Medidas variáveis são dados contínuos, como, por exemplo, esforço e tempo. Já medidas por atributo representam contagens discretas, como, por exemplo, número de defeitos encontrados. Sendo que para identificar se uma medida é contínua ou discreta deve-se considerar o contexto que a medida será coletada e utilizada.

Dentre os gráficos de controle que utilizam medidas variáveis existem os que são mais apropriados para analisar o comportamento do processo através do sub-agrupamento de

medidas, como é o caso do X-Bar e R, X-Bar e S. No entanto, o X-Bar e R é mais indicado para subgrupos menores que 10 medidas e o X-Bar e R para subgrupos maiores que 10 medidas.

Além disso, existem os gráficos que são mais adequados para analisar os processos em que as medidas vão ser coletadas frequentemente e analisadas individualmente, como o XmR e XMmR. Sendo que o XmR utiliza como base para o cálculo dos limites de controle a média e o XMmR utiliza a mediana. Sendo que o X é gráfico de controle utilizando as medidas individuais, mR é um gráfico com pontos que representam a variação entre a medida e a sua antecessora.

Dessa forma, o segundo passo para escolher o gráfico de controle para o tipo de medida variável é estabelecer como as medidas vão ser agrupadas para a análise. No entanto, para definir se o subagrupamento deve ser individual (subgrupos de tamanho igual a 1) ou não, deve-se levar em consideração a entidade que vai ser medida, tais como: atividade, artefato, pessoas, entre outros.

Por exemplo, para um indicador de gráfico de controle que deve mostrar o esforço despendido nas atividades de requisitos, foi definido que a métrica a ser coletada será a de esforço e que o alvo da medição serão as atividades de requisitos. Como as medidas de esforço serão dados contínuos ou variáveis, o segundo passo é planejar como as medidas podem ser agrupadas. Uma opção é agrupá-las temporalmente (por dia, por semana, por mês, por ano, entre outros), outra opção é agrupá-los por atividade de requisitos (Figura 18) ou então utilizar cada medida coletada individualmente. A escolha de qual tipo de agrupamento deve ser aplicado vai depender de como os indicadores vão ser analisados.

Week	Mon	Tues	Wed	Thur	Fri	Avarage	Range
1	50,5	43,5	45,5	39,8	42,9	44,44	10,7
2	44,3	44,9	42,9	39,8	39,3	42,24	5,6
3	48,8	51	44,3	43	51,3	47,68	8,3
4	46,3	45,2	48,1	45,7	44,1	45,88	4
5	40,6	45,7	51,9	47,3	46,4	46,38	11,3
6	44,4	49	47,9	45,5	44,8	46,32	4,6
7	46	41,1	44,1	41,8	47,9	44,18	6,8
8	44,9	43,4	49	45,5	47,4	46,04	5,6
9	50	49	42,6	41,7	38,5	44,36	11,5
10	44,5	46,5	41,7	42,6	41,7	43,4	4,8
11	43,8	41,8	45,5	44,5	38,6	42,84	6,9
12	43,2	43,8	44,8	43,5	40,9	43,24	3,9
13	50	43,4	48,3	46,4	43,4	46,3	6,6
14	52,3	45,2	42,2	44,8	42,8	45,46	10,1
15	50	46,2	47,4	42,2	47	46,56	7,8
16	47,3	49,7	48	42	41	45,6	8,7
Grand Avarages						45,0575	7,325

Collect	Activity 1	Activity 2	Activity 3	Activity 4
1	171,6	100	27,5	18,1
2	40,9	45,9	27,6	27,1
3	96	28,7	39,5	65,4
4	48,9	60	37,7	27,5
5	145,7	79,4	79,9	26,5
6	92,1	63,2	37,1	26,9
7	47	26,7	32,2	76
8	86,8	39,7	11	14,3
9	92,5	79,2	20,9	15,2
10	26	27,7	26	72,2
11	77,6	58,3	56,8	9,2
12	129,2	13,4	46,9	33,1
13	73,6	129,5	17,4	20,5
14	24	22,1	41,4	33,5
15	46,5	18,5	32,2	25,3
Average	80,04	52,82	35,60667	32,72
Range	43,59623	33,26096	16,88725	21,12805

Figura 18. Exemplos de Sub-agrupamento por: (a) semana (b) atividade – adaptado de [Florac e Carleton 1999]

Quando se opta pelo agrupamento das medidas coletadas, é realizada a média dos valores do grupo, que é utilizada no cálculo dos limites dos gráficos de controle.

Em relação aos gráficos que são mais adequados para analisar medidas discretas, podem-se citar os seguintes gráficos de controle: u, c, z, XmR e XmMR. Segundo Florac e Carleton (1999), o gráfico u é mais adequado para medidas discretas em que as condições para a coleta das medidas são diferentes (por exemplo, coleta do esforço em projetos de tamanho de diferentes), dessa forma o cálculo dos limites do gráfico de controle é realizado para cada medida coletada. Já o gráfico c é mais adequado para representar dados de medidas discretas coletadas em um mesmo domínio. E o gráfico z é mais adequado para identificar tendências de instabilidade do processo, através da conversão dos valores das medidas coletadas para o gráfico em u para a escala em sigma.

II. Procedimento

Os seguintes procedimentos são realizados na definição de um indicador estatístico: (i) definir os indicadores estatísticos com intuito de resolver ou fornecer subsídios para responder as questões definidas; (ii) identificar as métricas que devem ser utilizadas pelo indicador - nesse momento são identificadas as métricas que estão relacionadas ao indicador e que vão ser definidas (se não existir definição) e terão sua coleta e análise planejadas; (iii) identificar o tipo de dado da métrica que deve ser coletados e a unidade da métrica; (iv) estabelecer o agrupamento das métricas coletadas; (v) selecionar o gráfico de controle mais adequado; (vi) selecionar os atributos do processo que devem ser medidos; e (vii) estabelecer os procedimentos e a periodicidade da análise dos dados.

III. Recomendação

As seguintes recomendações podem ser seguidas: (i) os indicadores devem ser identificados com o objetivo de solucionar as questões definidas na subatividade anterior; (ii) os indicadores devem levar em consideração a peculiaridade de cada tipo de gráfico de controle.

IV. Dependência

Essa subatividade possui como dependência a definição das questões de medição.

V. Exemplos

O Quadro 7 apresenta um exemplo de instanciação de um indicador.

Quadro 7. Exemplo de Indicador Estatístico

Objetivo de Negócio	Aumentar a qualidade dos produtos produzidos	
Subprocesso Crítico	Teste de software	
Versão	1.1	
Objetivo de Medição	Analisar o processo de teste, com a intenção da quantidade de defeitos encontrados, durante os testes realizados no produto, do ponto de vista da gerência. No contexto de desenvolvimento de software.	
Questão	Qual a densidade de defeitos encontrados em determinado release de um produto?	
Indicador	Descrição	Densidade de defeitos do produto em cada release realizada
	Formato	Gráfico de controle
	Métrica	Densidade de defeitos
	Unidade	Número de defeitos /PF
	Tipo de dado	Variável
	Tipo de agrupamento	Individual
	Tipo de gráfico de controle	XmR
	Periodicidade da análise	Final de cada release
	Procedimentos de análise	- Gerar os gráficos de controle conforme o planejado; - Verificar os pontos de instabilidade do processo; - Identificar as possíveis causas especiais de variação.

SA1.6 Definir as Métricas

I. Introdução

A atividade de definição de métricas tem como objetivo estabelecer as métricas que serão coletadas pela organização, assim como a forma que será realizada a coleta e análise.

As métricas devem estar relacionadas com os objetivos de negócio, de medições, questões e com os indicadores. Segundo Barcellos (2009), a definição operacional de uma métrica deve conter: a definição da medida, entidade medida, propriedade medida, unidade de medida, tipo de escala, valores da escala, intervalo esperado dos dados (se possível), fórmulas

(se possível), descrição detalhada e precisa dos procedimentos de medição, responsável pela medição, momento de medição e periodicidade de medição.

Para o CEP, um dos itens mais importantes da definição de uma métrica é a periodicidade de coleta, que deve estar relacionada ao contexto do indicador ao qual se aplica, à forma como os dados devem ser agrupados para a análise e às entidades que devem ser medidas. Além disso, a periodicidade da coleta está diretamente relacionada com a granularidade da medição. Segundo Barcellos (1999), é recomendado que as métricas utilizadas tenham granularidade baixa, ou seja, a periodicidade de coleta deve ser a menor possível, apesar de algumas métricas com granularidade alta (como de tamanho) serem bastante úteis para a normalização das métricas.

A Tabela 6 mostra o relacionamento entre cada periodicidade de coleta de métricas e os subagrupamentos previstos nas definições dos indicadores. Por exemplo, para subagrupamento semanal, a periodicidades da coleta só podem ser diárias. Outro exemplo mostrado é o relacionamento de subagrupamentos por tipo de entidade a ser medida e a periodicidade, para esse caso pode ser possível coletar as métricas de todas as formas, o mesmo se aplica para os subagrupamentos individuais.

Tabela 6. Relacionamento entre Periodicidade e Subagrupamentos

Periodicidade da Coleta	Tipos de Subagrupamentos				
	Semanal	Mensal	Anual	Por Tipo de Entidade	Individual
Diária	X	X	X	X	X
Semanal		X	X	X	X
Mensal			X	X	X
Anual				X	X
Final de uma atividade				X	X
Início de uma atividade				X	X

Além disso, para uma determinada métrica podem existir diversas periodicidades, dependendo da atividade do momento que ela deve ser coletada. Dessa forma, surge o conceito de validade das métricas, que é a especificação de quais momentos no processo determinada métrica é válida ou não.

Uma métrica pode estar relacionada a mais de um indicador. Sendo que cada indicador pode ter subagrupamentos diferentes. Por exemplo, um indicador I1 tem subagrupamento semanal e outro I2 tem subagrupamento por entidade. Se os dois indicadores estiverem

relacionados às mesmas entidades do processo, deve prevalecer a restrição do subagrupamento semanal de realizar, por exemplo, as coletas diariamente.

II. Procedimento

A definição de uma métrica deve levar em consideração os seguintes procedimentos: (i) definir as métricas que devem ser coletadas, conforme os indicadores definidos; e (ii) definir os procedimentos de coleta (responsáveis, periodicidade, momento da coleta).

III. Recomendação

Na definição das métricas deve-se considerar as seguintes recomendações: (i) as métricas coletadas devem estar relacionadas aos indicadores definidos; (ii) a periodicidade das coletas deve ser dependente da previsão de agrupamento das métricas, definida no indicador; (iii) segundo Barcellos(2009), a periodicidade de coleta das métricas deve ser feita com maior frequência possível, para que a métrica possua uma granularidade menor; e (iv) a organização deve ter cuidado na definição da periodicidade das métricas, para que uma métrica não seja coletada para uma mesma entidade com periodicidade diferente. Isso pode ocorrer quando uma métrica esta relacionada a mais de um indicador. Se ocorrer isso, deve-se coletar utilizando como parâmetro a de menor periodicidade.

IV. Dependência

Essa subatividade possui como dependência a definição dos indicadores estatísticos.

V. Exemplo

O Quadro 8 mostra um exemplo de instanciação de definição de métricas, baseado em [Barcellos 2009]:

Quadro 8. Exemplo de Definição de Métrica

Definição da métrica	Densidade de defeitos
Tipo de entidade medida	Artefato de código
Unidade de medida	Número de defeitos/PF
Tipo de escala	Racional
Valores da escala	Números reais positivos
Intervalo esperado dos dados (se possível)	Não se aplica.
Fórmulas (se possível)	Número de Defeitos/Tamanho do produto em PF
Descrição detalhada e precisa dos procedimentos de medição	<ul style="list-style-type: none"> - Registrar o número de defeitos do produto a ser entregue na <i>release</i> encontrados nas atividades de teste. - Calcular o tamanho em PF do produto entregue na <i>release</i>. - Aplicar a fórmula de densidade de defeitos.
Responsável pela medição	Analista de medição
Momento de medição	Durante as atividades de teste do produto.
Periodicidade de medição	Diariamente

SA1.7 Identificar os Projetos Similares (metodologia organizacional)

I. Introdução

O CEP pode ser realizado em nível de projetos e em nível organizacional. O CEP no contexto organizacional é aquele em que a organização opta por aplicar o CEP utilizando dados de vários projetos da organização. Dessa forma, deve-se ter cuidado com a seleção dos projetos que participaram da análise. Segundo Barcellos (2009), uma organização deve definir critérios para a caracterização de seus projetos, para que seja possível utilizar em uma mesma análise dados de vários projetos e obter um melhor resultado em relação às comparações das medidas. Além do cuidado com a seleção dos projetos que devem ser selecionados, devem-se identificar quais as entidades dentro de cada projeto são mais adequadas para participarem da análise.

II. Procedimento

Para a realização dessa subatividade, deve-se: (i) para cada indicador definido, selecionar os critérios que serão considerados na seleção dos projetos; e (ii) selecionar os projetos que serão utilizados conforme os critérios estabelecidos.

III. Recomendação

A seleção dos projetos deve ser realizada conforme os critérios estabelecidos pela organização para caracterização de seus projetos.

IV. Dependência

Essa subatividade possui a dependência de definir os critérios para caracterização dos projetos da organização.

V. Exemplos

Projetos selecionados para a análise do controle estatístico, segundo critérios estabelecidos. Alguns exemplos de critérios podem ser os seguintes: domínio do projeto (web, desktop); orçamento do projeto, porte do projeto (grande, médio, pequeno).

SA1.8 Identificar Entidades Similares

I. Introdução

A atividade de seleção de entidades a serem medidas tem como objetivo agrupar as entidades que podem ter seus dados analisados juntamente, pois são semelhantes segundo critérios de similaridade definidos. Essa atividade pode ser aplicada tanto em nível de organizacional, quanto em nível de projetos. No primeiro caso, ela acontece após a seleção dos projetos similares que devem participar da análise no CEP, pois nele devem ser selecionados em cada projeto as entidades mais similares que devem participar do CEP. No segundo caso, essa atividade é realizada logo em seguida a definição das medidas que serão utilizadas. Em um processo, muitas vezes as entidades medidas podem não ser similares, o que torna difícil a comparação de métricas coletadas por essas atividades. Por exemplo, um projeto de software foi dividido em diversos módulos e a empresa deseja obter a produtividade no levantamento de requisitos de cada um deles, no entanto, o processo utilizado para levantamento dos requisitos de cada módulo foi diferente. Sendo assim, é difícil comparar métricas nesses módulos.

II. Procedimento

Para a realização dessas subatividades, deve-se: (i) para cada indicador definido verificar o tipo de entidade que deve ser selecionado para a análise; e (ii) selecionar as

entidades similares que serão utilizadas para a análise das métricas, conforme critérios previamente estabelecidos.

III. Recomendação

Como recomendações, têm-se: (i) as entidades devem estar relacionadas a indicadores definidos; e (ii) as entidades do processo a serem medidas devem ser similares, conforme os critérios estabelecidos pela organização.

IV. Dependência

Essa subatividade tem como dependência a definição de critérios para identificar a similaridade entre as entidades.

V. Exemplos

Como exemplo de instanciação dessa atividade tem-se as entidades selecionadas e que são consideradas similares, segundo critérios e mecanismos estabelecidos. Um exemplo de mecanismo para identificação de similaridades é a função de similaridade do raciocínio baseado em casos, de Von Wangenheim (2003).

SA1.9 Definir Critérios para Caracterização de Projetos e Entidades do Processo a serem Utilizadas pelo Controle Estatístico de Processo de Software

I. Introdução

A atividade de definir os critérios tem como objetivo estabelecer critérios e mecanismos para caracterização dos projetos e entidades do processo, para a identificação da similaridade entre projetos e entre entidades. Essa atividade é considerada acessória, pois não participa diretamente do processo de CEP, mas é importante para o sucesso da atividade acessória na identificação dos projetos e entidades similares.

II. Procedimento

Para realizar essa subatividade acessória, deve-se: (i) estabelecer os critérios para caracterização dos projetos da organização; e (ii) definir mecanismos para identificar o grau de similaridade entre entidades de um processo (atividades, artefatos, pessoas).

III. Recomendação

Para definir os mecanismos e critérios para seleção das entidades similares podem ser usadas técnicas como a da função de similaridade do raciocínio baseado em casos, de Von Wangenheim (2003).

IV. Dependência

Não se aplica.

V. Exemplo

No Quadro 9 são apresentados alguns exemplos de critérios, que podem ser utilizados como parâmetros para a seleção de projetos similares:

Quadro 9. Exemplo de Critérios para Seleção de Projetos Similares

Critério	Valores Possíveis
Porte	Grande, médio, pequeno.
Domínio	Desktop, web.
Custo do Projeto	Faixa de valores, segundo determinada moeda.

Um exemplo relacionado à definição de um mecanismo para selecionar entidades similares (tais como, atividades, artefatos, entre outros) para serem medidas dentro de um projeto é a função de similaridade do Raciocínio Baseado em Casos, de Von Wangenheim (2003). França (2009) expõe alguns exemplos da utilização desse mecanismo para identificar similaridade entre artefatos, atividades e outras entidades para a simulação de processos.

SA1.10 Caracterizar os Projetos

I. Introdução

A atividade acessória de caracterizar o projeto tem como objetivo caracterizar cada projeto da organização segundo os critérios previamente estabelecidos.

II. Procedimento

No momento do planejamento de um projeto, devem-se caracterizar os projetos da organização, conforme os critérios estabelecidos.

III. Recomendação

Os projetos devem ser caracterizados conforme os critérios estabelecidos previamente.

IV. Dependência

Essa subatividade depende da definição dos critérios.

V. Exemplos

A instanciação dessa atividade são os projetos estarem caracterizados conforme critérios estabelecidos. Um exemplo é uma organização que estabelece que seus projetos devam ser caracterizados segundo o domínio (desktop, web) e por porte (grande, médio, pequeno). Os projetos da organização devem ser caracterizados conforme essas características. Por exemplo, um projeto pretende desenvolver uma aplicação desktop para um cliente, sendo que o sistema é apenas para um cadastro dos empregados da empresa. Dessa forma, esse projeto pode ser caracterizado com o domínio web e porte pequeno.

AT 2 Coletar as Métricas

I. Introdução

A coleta das métricas definidas deve seguir o planejamento da sua coleta definido. Segundo Barcellos(2009), na coleta de uma métrica devem-se registrar as seguintes informações: contexto da medição, entidade medida, intervalo de tempo da medição e da alocação de pessoas para realização da medição, executor da medição, momento real da medição e valor da medição.

II. Propósito

Esta atividade tem como objetivo executar a medição, conforme o planejamento prévio da coleta.

SA2.1 Coletar as Métricas

I. Introdução

A atividade de coleta de métricas tem como objetivo executar a medição, conforme ao planejamento da coleta realizado.

II. Procedimentos

Como procedimento para a realização dessa subatividade tem-se: (i) analisar o plano de medição e os procedimentos de coleta; e (ii) coletar as métricas conforme a periodicidade e o procedimento de coleta definido.

III. Recomendações

Como recomendação tem-se que a coleta das métricas deve seguir o planejamento (métricas, procedimento de coleta, periodicidade de coleta, entidades a serem medidas).

IV. Dependências

A coleta das métricas deve ser realizada após o planejamento da medição.

V. Exemplos

No Quadro 10 é apresentado um exemplo da métrica coletada:

Quadro 10. Exemplo de Métrica Coletada

Métrica	Número defeitos
Tipo de Entidade	Artefato
Entidade Medida	Artefato de código da <i>release</i> 1
Intervalo de Tempo (Medição)	Início: 10/02/2009 15:30 Fim: 10/02/2009 15:45
Intervalo de Tempo (Alocação da Equipe)	Início: 25/01/2009 Fim: 25/06/2009
Executor da Medição	Débora Fernandez
Momento Real da Medição	Atividade Avaliar Qualidade dos Produtos Entregue
Valor da Medição	80

AT 3 Analisar os Resultados

I. Introdução

A atividade de análise dos resultados da medição realiza a verificação da estabilidade do processo, aplicando os testes de estabilidade. Através dessa verificação é possível identificar problemas no processo e oportunidades de melhoria, assim como verificar se os dados de limite de controle do processo poderiam ser utilizados como base para estimativas futuras.

II. Propósito

O objetivo dessa atividade é aplicar técnicas estatísticas sobre as métricas coletadas e através disso identificar possíveis instabilidades na variabilidade do processo.

SA3.1 Analisar os Indicadores Estatísticos

I. Introdução

A análise dos resultados deve ser realizada conforme o procedimento de análise definido e a periodicidade estabelecida no planejamento. Para a análise dos indicadores estatísticos, deve-se primeiramente verificar as métricas coletadas e verificar se foram coletadas como o planejado e se é possível agrupar os dados conforme o definido. Nessa verificação pode ser identificado que os dados não são suficientes ou que não vai ser possível agrupá-los como o planejado ou que o tipo de gráfico de controle selecionado não é o mais adequado [IEEE 1061 1998].

Segundo Florac e Carleton (1999), é aconselhável que para os gráficos de controle X-Bar e R tenham no mínimo de 25 a 30 subgrupos. E, para gráficos XmR, são no mínimo 40 a 45 valores individuais. Uma das razões para se utilizar valores altos é que um grande número de subgrupos reduz a influência que alguns valores extremos podem ter sobre os limites calculados e aumentar a confiança na precisão dos limites de controle. No entanto, essas quantidades de métricas não são obrigatórias, principalmente quando se está começando o CEP, mas deve-se ser cauteloso com pequenas quantidades de dados, pois os limites podem não ser confiáveis. Ou seja, concluir que um processo é estável ou quase, com menos de 25 a 30 subgrupos é arriscado.

Caso as métricas coletadas não sejam suficientes, talvez seja necessário continuar coletando ou planejar uma nova coleta de métricas, se possível. Caso não seja possível agrupar os dados da maneira que foi previamente planejada, deve-se verificar se não se deve planejar uma nova coleta de dados ou adequar o plano realizado. E se após o planejamento foi verificado que o gráfico de controle escolhido não é o mais adequado para a análise dos indicadores, deve-se atualizar o planejamento realizado. Por exemplo, se o tipo escolhido no planejamento foi X-Bar/R e o tamanho dos agrupamentos forem maiores que 10, é mais apropriado alterar o planejamento o tipo de gráfico de controle para X-Bar/S [Florac e Carleton 1999].

Após essas verificações, os gráficos de controle podem ser gerados. Primeiramente são calculados os limites superior e inferior e a linha central do gráfico. Em seguida são aplicados os testes de estabilidade, que são utilizados para verificar se o processo possui causas especiais de variação (seção 2.11). É importante frisar que a utilização de todos os testes de estabilidade aumenta a sensibilidade e pode implicar na descoberta de falsas causas especiais.

Dessa forma, é necessário que seja verificado se realmente existe uma causa especial ou apenas um ruído no processo.

Além da realização dos testes, é necessária a identificação de comportamentos irregulares no processo. Segundo Florac e Carleton (1999), existem 6 tipos de anomalias mas frequentes em Engenharia de Software, e são eles: ciclos, tendências, misturas, mudança rápida de nível, agrupamento e estratificação.

Segundo Florac e Carleton (1999) existem dois tipos de variação encontrada na análise dos gráficos de controle (seção 2.3): as aceitáveis que são chamadas de causas comuns; e as que excedem os limites de controle que são chamadas de causas especiais ou assinaláveis.

II. Procedimento

Para a realização dessa atividade deve-se: (i) verificar a suficiência dos dados e se os dados foram coletados como o planejado; (ii) verificar a adequação do gráfico de controle escolhido no planejamento, com os mais apropriados para as métricas coletadas; (iii) gerar os gráficos de controle; (iv) aplicar os testes de estabilidade; (v) realizar reuniões com os interessados e envolvido para verificar a contextualização dos dados analisados; e (vi) registrar as informações de contexto e consolidá-las.

III. Recomendações

Como recomendações têm-se: (i) a análise dos dados deve ser realizada conforme o planejado, seguindo o procedimento de análise, momento da análise e periodicidade de análise previstos; (ii) antes de verificar a estabilidade do processo deve-se garantir se a quantidade de métricas é suficiente para identificar oportunidades de melhoria ou causas especiais no processo; (iii) utilizar além dos testes de estabilidades, a identificação de comportamentos irregulares no processo de software; e (iv) para verificar se um ponto instável é uma causa especial ou um ruído, deve-se observar o contexto de cada ponto - um ponto no gráfico pode ter apenas um contexto ou ter vários, dependendo se ponto é um agrupamento de métricas ou se é um valor individual.

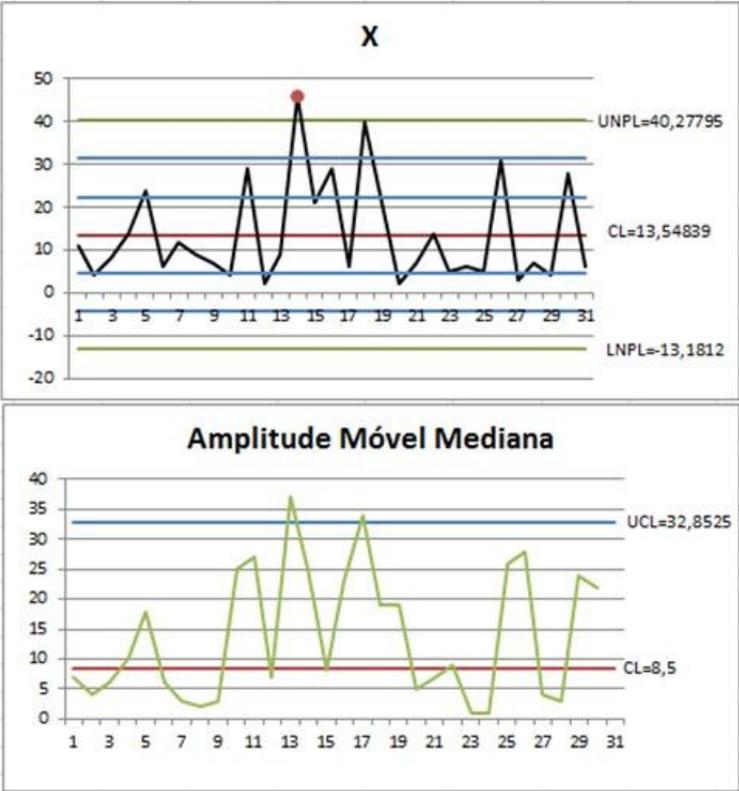
IV. Dependência

Essa subatividade depende dos seguintes itens: (i) planejamento da medição deve ter sido realizado; (ii) as métricas devem ter sido coletadas; (iii) a quantidade de dados deve ser suficiente para a análise; e (iv) deve ser possível encontrar o contexto dos dados analisados.

V. Exemplos

No Quadro 11 é mostrado um exemplo de instância dessa atividade:

Quadro 11. Exemplo dos Gráficos de Controle Gerados para a Análise

Indicador	Densidade de defeitos do produto em cada <i>release</i> realizada
Gráfico de Controle	 <p>The figure displays two control charts. The top chart, titled 'X', is an individual data points chart showing the density of defects per release. The y-axis ranges from -20 to 50. The x-axis represents 31 releases. Control limits are UNPL=40,2795 (Upper Natural Process Limit), CL=13,54839 (Center Line), and LNPL=-13,1812 (Lower Natural Process Limit). A red dot is plotted at release 14, indicating a significant outlier. The bottom chart, titled 'Amplitude Móvel Mediana', is a median moving range chart. The y-axis ranges from 0 to 40. The x-axis represents 31 releases. Control limits are UCL=32,8525 (Upper Control Limit) and CL=8,5 (Center Line).</p>
Contexto	<p>Ponto: 10 Contexto: verificação que o produto não está compatível com os documentos de requisitos.</p>

AT4 Estabilizar e Controlar o Processo

I. Introdução

Após a análise dos dados inicia a fase de estabilização e controle do processo, que dependendo do resultado da análise pode implicar na realização de diferentes atividades, conforme mostrado na Figura 19. Nas demais subseções serão apresentadas cada uma dessas subatividades.

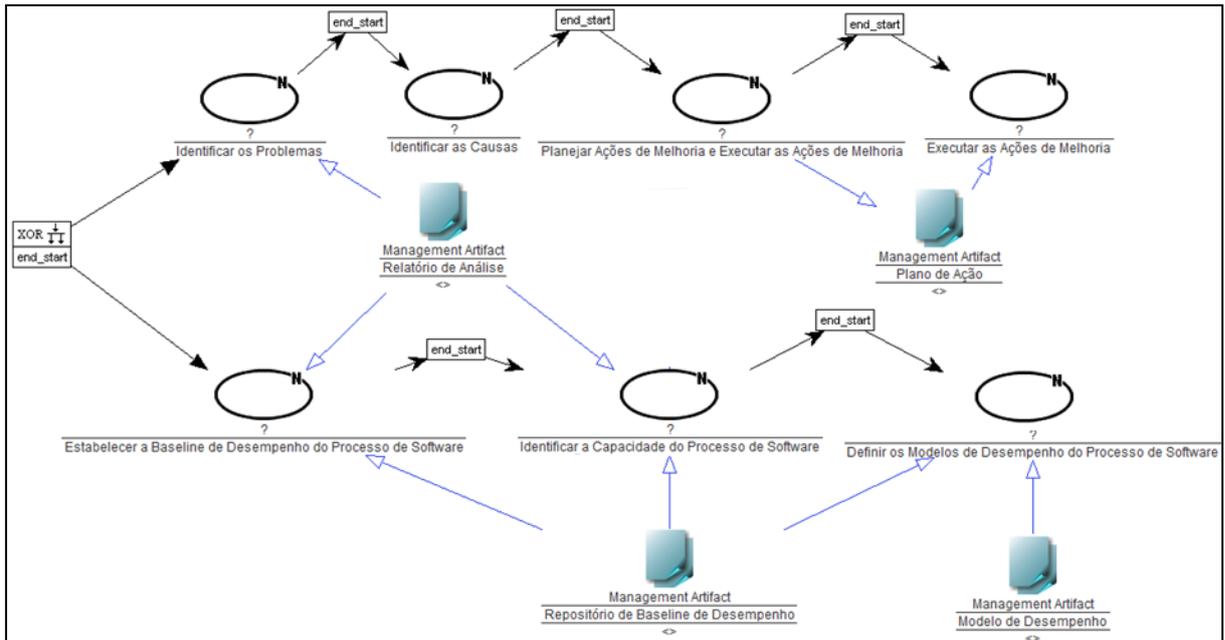


Figura 19. Subatividades da Estabilização e Controle do Processo

II. Propósito

Essa atividade tem como objetivo realizar a estabilização e controle do processo analisado.

SA4.1 Identificar os Problemas

I. Introdução

A fase de estabilização do processo depende da eliminação de instabilidades ou anomalias do processo. Para isso, primeiramente os problemas que causaram as instabilidades e algumas informações devem ser identificadas, tais como [SEI 2010]: o contexto, o local onde ocorreu o problema e quando ocorreu o problema. Para auxiliar na identificação dos problemas existem técnicas como o diagrama de causa e efeito, o mapa de causas, entre outros.

Após os problemas serem identificados, é necessário que seja definido quais vão ser resolvidos e priorizados. A decisão de quais os problemas devem ser resolvidos, deve levar em consideração: quais os objetivos de negócios são afetados e outros impactos, a frequência de ocorrência, a similaridade da ocorrência, o custo, os recursos e tempo necessário para a análise deles.

II. Procedimento

Essa subatividade tem como procedimento para sua realização: (i) identificar os problemas; e (ii) selecionar os problemas a serem resolvidos e priorizá-los.

III. Recomendação

Para a investigação dos problemas é importante entender o contexto dos pontos de instabilidade, o contexto do processo no momento da coleta, e as métricas correlatas às relacionadas ao indicador analisado, bem como o contexto delas.

IV. Dependência

O processo possuir pontos de instabilidade ou anomalias.

V. Exemplo

No Quadro 12 é apresentada a instanciação de um problema encontrado:

Quadro 12. Exemplo de Problemas Encontrados

Problema	Número de defeitos encontrados é maior do que o esperado nos limites de desempenho.
Indicador	Densidade de defeitos do produto em cada release realizada
Local	Atividade de especificação de requisitos do primeiro <i>release</i> do projeto.
Quando	Início: 12/03/2010 Fim: 15/04/2010
Contexto	O produto não está compatível com os documentos de requisitos.

SA4.2 Identificar as Causas

I. Introdução

Após a identificação dos problemas que ocasionaram os pontos de instabilidade e anomalias, deve-se identificar as causas de cada um desses problemas. Cada problema pode ter várias causas e uma causa pode estar relacionada a vários problemas [SEI 2010].

II. Procedimento

Como procedimento para a realização dessa subatividade, tem-se: (i) para cada problema identificar suas causas; e (ii) rastrear os problemas que cada causa pode estar ocasionando (pode ser utilizado uma matriz de rastreabilidade).

III. Recomendação

Utilizar técnicas para a descoberta das causas, tais como: o diagrama de causa e efeito [Florac e Carleton, 1999] ou o mapa de causas [Komuro, 2006] para auxiliar na descoberta das causas, se possível. Além disso, deve-se considerar o contexto da coleta das métricas e dos projetos deve ser considerado.

IV. Dependência

Essa subatividade possui como dependência os problemas terem sido encontrados.

V. Exemplo

O Quadro 13 apresenta um exemplo de causa encontrada para o problema citado na atividade de identificação de problemas: Ciclo de vida dos projetos não ser o mais apropriado, já que era em cascata e os requisitos eram alterados constantemente.

Quadro 13. Exemplo de Causa

Problema	Número de defeitos encontrados é maior do que o esperado nos limites de desempenho.
Indicador	Densidade de defeitos do produto em cada release realizada.
Local	Atividade de especificação de requisitos do primeiro <i>release</i> do projeto.
Quando	Início: 12/03/2010 Fim: 15/04/2010
Contexto	O produto não está compatível com os documentos de requisitos.
Causa	Os desenvolvedores mais experientes da equipe foram demitidos e os desenvolvedores novatos não foram treinados no processo e nem no negócio da empresa.

SA4.3 Planejar Ações de Melhoria e Executar as Ações de Melhoria

I. Introdução

Segundo [SEI 2010], após a identificação dos problemas e causas deve-se planejar as ações a serem realizadas para eliminar as causas e conseqüentemente resolver os problemas encontrados. Para isso devem-se verificar quais causas uma determinada ação pode resolver. Para cada ação devem-se planejar as atividades, cronograma e recursos necessários e dessa forma priorizar quais ações vão ser prioritárias.

II. Procedimento

Planejar as ações de melhoria (recursos, cronograma, atividades) para eliminação das causas especiais e conseqüentemente resolução dos problemas.

III. Recomendação

Priorizar as ações de melhoria conforme os recursos existentes, prioridades dos problemas que devem ser resolvidos pela realização dessas ações e outras razões da organização.

IV. Dependência

As causas devem ter sido identificadas.

V. Exemplos

No Quadro 14 é apresentada uma instância de um plano de ação.

Quadro 14. Exemplo de Plano de Ação

Problema	Número de defeitos encontrados é maior do que o esperado.				
Causa	Os desenvolvedores mais experientes da equipe foram demitidos e os desenvolvedores novatos não foram treinados no processo e nem no negócio da empresa.				
Ação	Definir/Rever o plano de treinamento e treinar a equipe na empresa.				
Recursos (material)	-Material em relação ao processo da empresa e negócio do projeto; -Wiki com essas informações; -Sala para treinamento.				
Recursos (pessoal)	- Membro da equipe experiente no negócio do projeto e no processo da organização utilizado no projeto.				
Atividades (processo)	1- Realizar os treinamentos da equipe em relação ao novo processo. 2 - Executar um projeto piloto com novos membros da equipe. 3- Coletar avaliações dos treinamentos; 4- Melhorar o processo (se aplicável).				
Cronograma	Atividade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
	1	X			
	2	X			
	3		X		
	4		X	X	X

SA4.4 Executar as Ações de Melhoria

I. Introdução

Segundo [SEI 2010], após o planejamento das ações, deve-se executar as atividades e realizar o acompanhamento delas. Com a finalização das ações de melhoria, caso necessário, o planejamento da medição deve ser realizado e novas medições devem ser feitas. Em muitos casos é necessário realizar um projeto piloto para experimentar as mudanças realizadas no processo e verificar se os problemas foram solucionados, as causas foram eliminadas ou se outros problemas foram criados.

II. Procedimento

A seguir os procedimentos para realização dessa atividade: (i) executar o plano de ação; (ii) acompanhar as melhorias realizadas; (iii) executar um projeto piloto; (iv) planejar novas medições (se necessário); (v) realizar novas medições; e (vi) realizar a análise da medição.

III. Recomendação

Como recomendação tem-se que a execução das ações devem ser realizadas conforme o plano de ação. O acompanhamento das ações de melhoria pode ser realizado através de uma planilha de acompanhamento, relacionando as atividades de melhoria com os seus respectivos problemas a serem resolvidos.

IV. Dependência

Essa subatividade tem como dependência o planejamento das ações de melhoria.

V. Exemplos

A instância dessa atividade é a realização das atividades planejadas no plano de ação.

SA4.5. Estabelecer a *Baseline* de Desempenho do Processo de Software

I. Introdução

A *baseline* de desempenho do processo deve ser estabelecida quando o processo está estável [Florac e Carleton 1999] e [Wheeler e Chambers 1992]. Uma *baseline* de desempenho descreve o desempenho atual do processo e os limites que devem ser utilizados para realizar comparações em próximas execuções do processo.

Uma *baseline* de desempenho deve ter as seguintes informações: o processo, a versão do processo, o indicador, os limites superior e inferior e linha central, os dados de contexto, o motivo de alteração (se estiver sendo alterada), o responsável pelo registro, o período dos dados, e os projeto(s) a que se referem à *baseline* [Barcellos 2009], [Boffoli *et al.* 2010], [Campos *et al.* 2007], [SEI 2010], [Florac e Carleton 1999], [Montoni *et al.* 2007], [SOFTEX 2011a], [Wang *et al.* 2006], [Wheeler e Chambers 1992].

Uma *baseline* pode ser alterada quando o processo ao qual se refere foi alterado ou quando a organização desejar estreitar os limites de variação do processo. Dessa forma, deve-se planejar novamente a medição (se for o caso) e executá-la.

II. Procedimento

Para a realização dessa subatividade deve-se: (i) obter as informações do processo relacionadas aos limites do processo; e (ii) armazenar as informações da *baseline* de desempenho do processo.

III. Recomendação

Segundo Barcellos(2009), é importante que as organizações estabeleçam uma *baseline* de desempenho de processo.

IV. Dependência

Essa atividade exige que o processo esteja estável.

V. Exemplos

No Quadro 15 é apresentada a instância de uma *baseline* de desempenho para o indicador de densidade de defeitos do produto em cada release realizada:

Quadro 15. Exemplo de *Baseline*

<i>Baseline</i>						
Versão	Contexto	Razão de mudança	Data de Criação	Responsável	Período Inicial	Período Final
1	-	-	10/04/2010	Lucélia	01/10/2006	20/12/2006
Tipo de Gráfico de Controle						
X-Bar			MmR			
Limite Inferior	Média	Limite Superior	Limite Inferior	Média	Limite Superior	
2,17	2,625	3,073	0	0,16	0,549	

SA4.6 Definir os Modelos de Desempenho do Processo de Software

I. Introdução

Segundo Kulpa e Johnson (2004), os modelos de desempenho permitem a previsão do desempenho futuro dos processos, a partir de atributos do processo. Dessa forma, os modelos de desempenho são utilizados nas estimativas que servem de base para o planejamento, e na monitoração quantitativa dos projetos. Através das previsões que podem ser realizadas pelos modelos é possível identificar se um determinado projeto vai seguir ou não o que foi planejado e dessa forma ações preventivas podem ser realizadas para evitar que o projeto não alcance determinadas metas. Dependendo do tipo de métrica envolvida no modelo (discreta ou contínua), diferentes técnicas podem ser utilizadas para elaborar e utilizar estes modelos, tais como, regressão, ANOVA, e *chi-square*.

II. Procedimento

Para a realização dessa subatividade é necessário: (i) relacionar os limites encontrados através da análise dos indicadores com os limites que estão na *baseline* de desempenho; e (ii) estabelecer os modelos (fórmulas) de desempenho do processo, através dos atributos do processo ou produto.

III. Recomendação

A organização deve manter um repositório de modelos de desempenho.

IV. Dependência

O processo está estável e possui uma *baseline* de desempenho do processo.

V. Exemplos

Um exemplo de modelo de desempenho definido pode ser encontrado em [Campos et al. 2007].

SA4.7 Identificar a Capacidade do Processo de Software

I. Introdução

Segundo SEI (2010), a capacidade de um processo descreve os limites de resultados que se espera que o processo alcance. Caso um processo não seja capaz, este deve ser melhorado até que se alcance a capacidade desejada. Isso significa que os limites devem ser diminuídos e

as causas comuns devem ser tratadas. A capacidade do processo é conhecida como voz do processo. Por outro lado, a capacidade desejada para o processo, estabelecida levando-se em consideração os objetivos da organização e do cliente, é chamada de voz do cliente [Florac e Carleton 1999].

Sendo assim, a voz do processo deve atender à voz do cliente. No entanto, é preciso considerar que, algumas vezes, a capacidade desejada para o processo não é possível de ser obtida. Nesse caso, os objetivos estabelecidos devem ser revistos, pois não são realistas.

Quando um processo torna-se capaz, um novo ciclo de melhoria pode ser iniciado, estabelecendo-se novos objetivos para que o processo possa ser melhorado continuamente.

II. Procedimento

Para a realização dessa subatividade deve-se [Florac e Carleton 1999]:

1. Plotar um histograma com os valores individuais versus os limites de capacidade;
2. Calcular os limites naturais de capacidade, através da seguinte fórmula:

$$NPL = \bar{X} \pm 1.66\bar{R}$$

3. Calcular a tolerância de especificação, que pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$TolerânciaEspecificação = USL - LSL$$

$$TolerânciaEspecificação(\sigma) = \frac{TolerânciaEspecificação}{\sigma_x}, \text{ onde: } \sigma_x = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

O cálculo da tolerância é usado para verificar se os limites de especificação são suficientemente largos para o processo, ou seja, são usadas quando os limites especificados são definidos conforme análises estatísticas. Sendo que, quando a tolerância excede a 6 sigmas e o processo estiver centrado dentro dos limites, os limites especificados não produzem grandes não conformidades. No entanto, quando a tolerância é menor que 6 sigmas, os valores frequentemente excedem os limites de especificação.

4. Calcular o DNS (distância de especificação), essa etapa é realizada para verificar o quanto o processo deve ser ajustado em sigmas. A fórmula utilizada é a seguinte:

$$Z_u = \frac{USL - \bar{X}}{\sigma_x}$$

$$Z_L = \frac{CL - LSL}{\sigma_x}$$

Sendo que, os valores de Z devem ser positivos e maiores que 3.

5. Verificar se o processo é capaz, para verificar isso se deve calcular os índices de capacidade do processo, como sege abaixo:

$$C_p = \frac{Z_{USL} - Z_{LSL}}{6 * (\text{desviopadrão})}$$

$$C_{pk} = \min \text{imumof} \left\{ \frac{Z_{USL}}{3 * (\text{desviopadrão})}, \frac{Z_{LSL}}{3 * (\text{desviopadrão})} \right\}$$

Sendo que:

- **Cp:**
 Processo incapaz: $C_p < 1$
 Processo aceitável: $1 \leq C_p \leq 1,33$
 Processo capaz: $C_p \geq 1,33$
- **Cpk:**
 Processo incapaz: $C_{pk} < 1$
 Processo aceitável: $1 \leq C_{pk} \leq 1,33$
 Processo capaz: $C_{pk} \geq 1,33$

6. Melhorar o processo para diminuir a sua variação e minimizar as não conformidades.

A Figura 20 apresenta o procedimento apresentado em Florac e Carleton (1999) para avaliação da capacidade do processo.

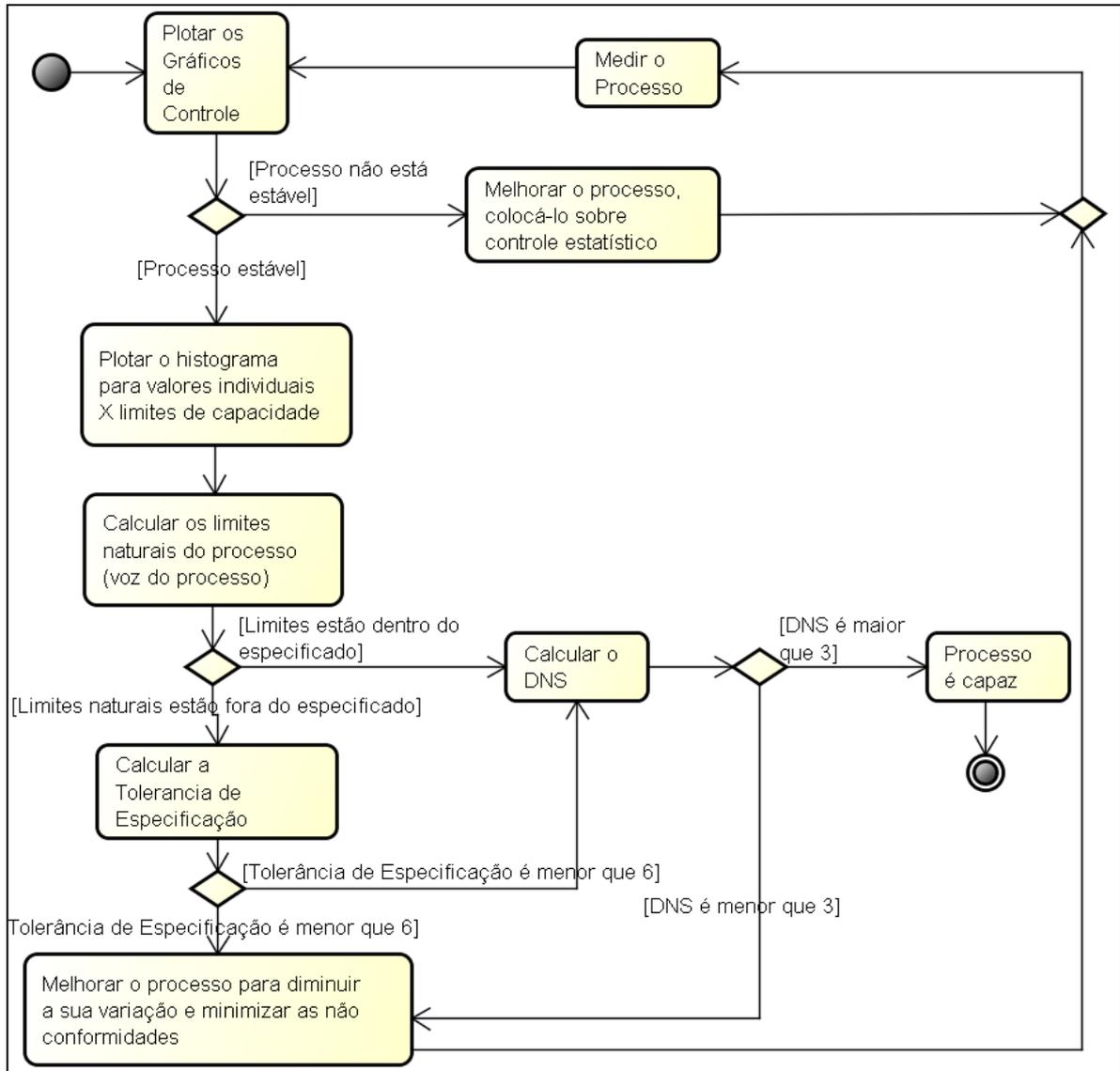


Figura 20. Procedimento para a Avaliação da Capacidade de um Processo Estável [Adaptado de Florac e Carleton, 1999]

III. Recomendação

A capacidade deve ser comparada com a especificação do cliente ou necessidade do cliente.

IV. Dependência

Essa capacidade depende do processo estar estável.

V. Exemplos

A Figura 21 apresenta as métricas coletadas e gráficos de controle gerados para as métricas de esforço, na realização das atividades do processo de teste.

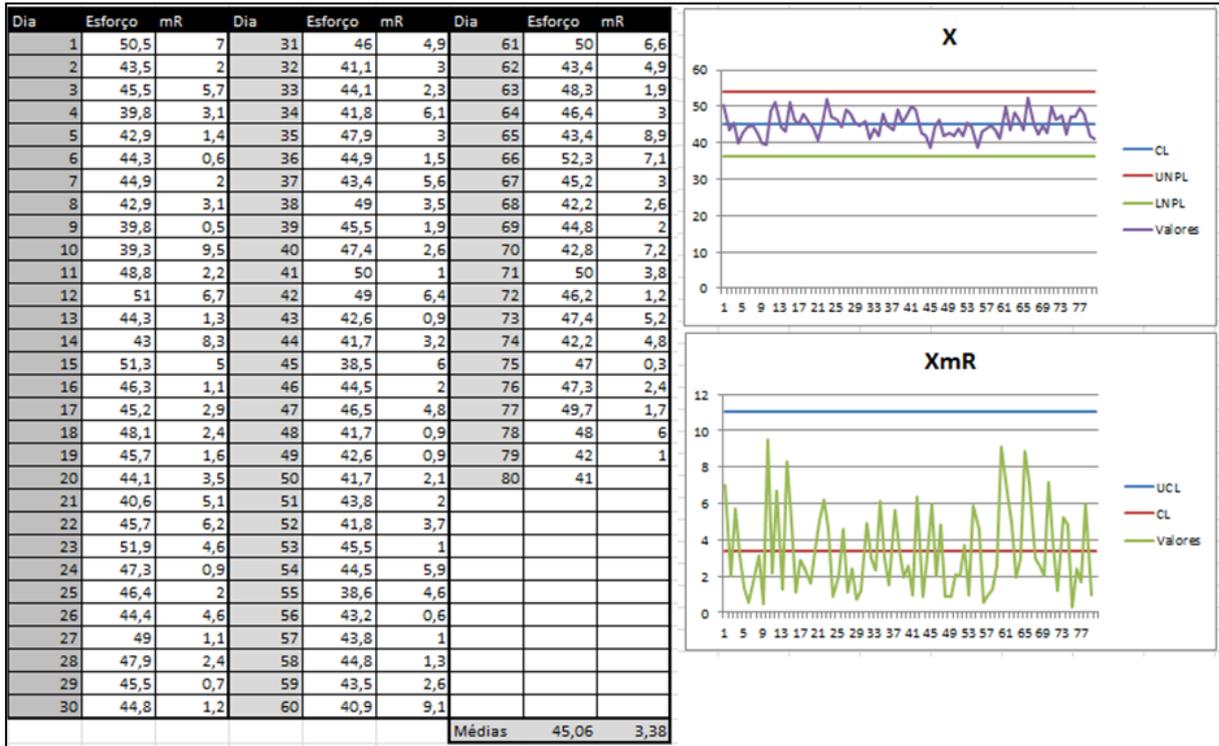


Figura 21. Exemplo de Métricas de Esforço e Gráfico de Controle XmR - Adaptado de Florac e Carleton (1999)

A Figura 22 apresenta o histograma gerado para o processo de teste estável. O segundo estágio é comparar os limites naturais do processo (nesse caso foi 30 e 50) com o especificado. Se os limites naturais estiverem dentro do especificado, então os produtos produzidos estão dentro do especificado, ou seja, o processo é capaz. Se um processo é dito não capaz, ele produz não conformidades, que podem ser inviáveis economicamente. A Figura 23 apresenta a comparação entre os limites naturais do processo com o que foi especificado.

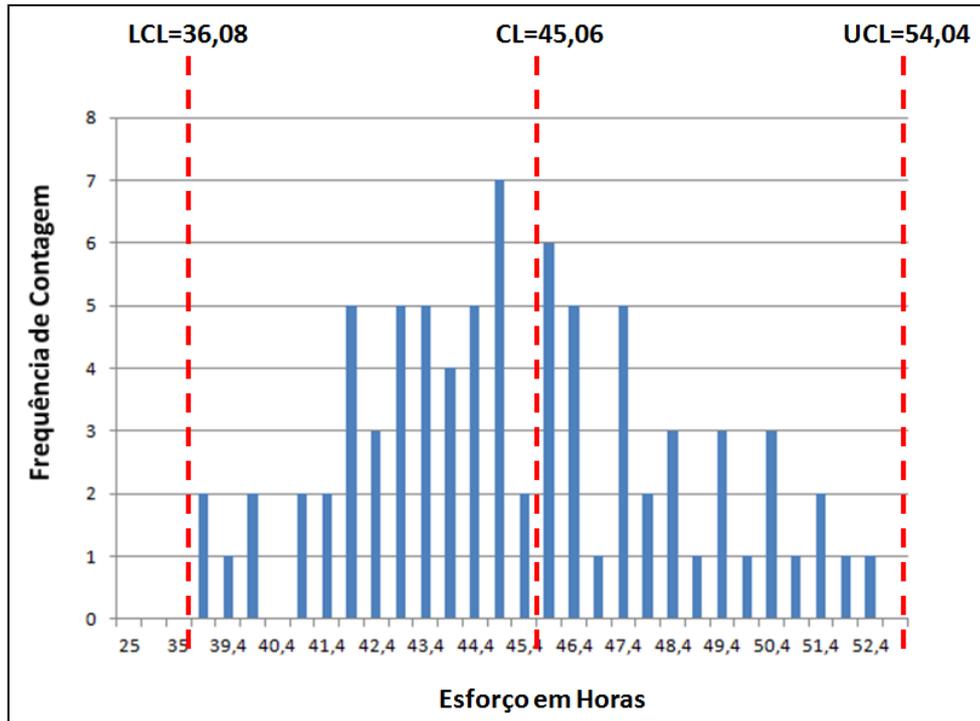


Figura 22. Histograma Gerado

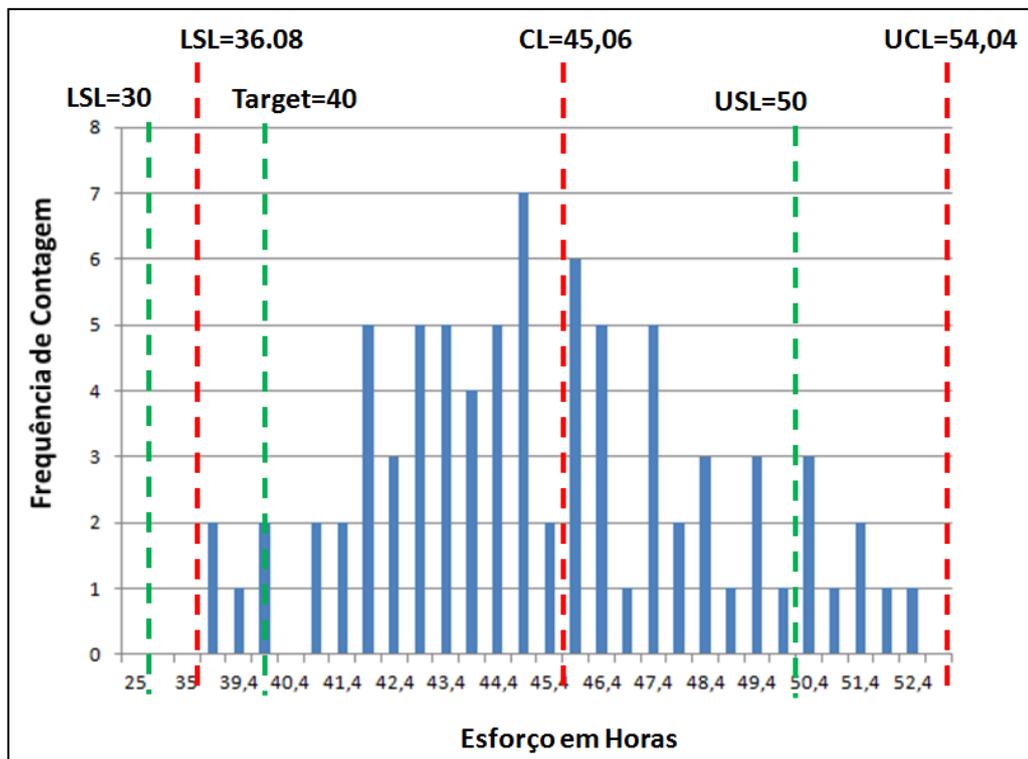


Figura 23. Exemplo de Comparação dos Limites Naturais do Processo com o Especificado

No exemplo acima, o processo está estável, mas parte dos resultados está fora dos limites de especificados, ou seja, está estável, mas não é capaz. Nesse caso, deve-se calcular a especificação de tolerância, que nesse exemplo é 6,67. Em seguida é calculado o valor de DNS, em que Z_u é 1,65 e Z_l é 3,34. Como o valor de DNS é maior que 3, então o processo

deve ser melhorado, ou seja, para reduzir as não conformidades, ações devem ser tomadas para mudar o processo. As mudanças devem objetivar: reduzir a variação do processo, redefinir a média do processo, ou diminuir os limites de especificação.

3.2.3. Aderência do Processo aos Requisitos Para Processo de Controle Estatístico de Processo de Software

Cada uma das atividades e subatividades apresentadas do processo-padrão apresentado nesse capítulo está relacionado a um dos requisitos do Quadro 2 (seção **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), conforme a matriz de rastreabilidade apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. Atividades do Processo X Requisitos

Atividades do Processo	Requisitos								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
AT1 - Planejar Medição para o CEP									
SA1.1- Definir Objetivos de Negócio	X								
SA1.2- Identificar os Subprocessos Críticos	X								
SA1.3 - Definir Objetivos de Medição	X								
SA1.4 - Definir Questões	X								
SA1.5 - Definir Indicadores Estatísticos	X								
SA1.6 - Definir as Métricas	X								
SA1.7 - Identificar os Projetos Similares (metodologia organizacional)		X							
SA1.8 - Identificar Entidades Similares		X							
SA1.9- Definir Critérios para Caracterização de Projetos e Entidades do Processo a serem Utilizadas pelo Controle Estatístico de Processo de Software		X							
SA1.10 - Caracterizar os Projetos		X							
AT2 - Coletar as Métricas									
SA2.1 - Coletar as Métricas			X						
AT3 - Analisar os Resultados									
SA3.1 - Analisar os Indicadores Estatísticos				X					
AT4 - Estabilizar e Controlar o Processo									
SA4.1 - Identificar os Problemas						X			
SA4.2 - Identificar as Causas						X			
SA4.3 - Planejar Ações de Melhoria e Executar as Ações de Melhoria						X			
SA4.4 - Executar as Ações de Melhoria							X		
SA4.5 Estabelecer a <i>Baseline</i> de Desempenho do Processo de Software					X				
SA4.6 - Definir os Modelos de Desempenho do Processo de Software								X	

SA4.7 - Identificar a Capacidade do Processo de Software										X
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

3.3. Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo apresentou os requisitos encontrados na literatura para CEP e o processo-padrão de CEP especificado para software, que serviram como base para o desenvolvimento de uma ferramenta para CEP para software, apresentada no Capítulo 4.

Capítulo 4 - Ferramenta para Apoio ao Controle Estatístico de Processo

Este capítulo apresenta a descrição da ferramenta desenvolvida para apoio ao controle estatístico de processo de software.

4.1. Ambiente WebAPSEE

Atualmente existem várias ferramentas de software que apoiam as organizações na aplicação do CEP. No entanto, essas ferramentas apoiam na maioria das vezes a geração dos gráficos e não a integração ou rastreabilidade das métricas ao processo de software analisado. Dessa forma, foi desenvolvida uma ferramenta que apoie o processo de CEP, abrangendo as 4 atividades apresentadas na Figura 15.

Esta ferramenta foi integrada ao WebAPSEE, que é um Ambiente de Desenvolvimento de Software Centrado em Processos (ADS) desenvolvido desde 2005 como Software Livre pelo Laboratório de Engenharia de Software da Universidade Federal do Pará (LABES-UFPA), com participação do SERPRO-Belém e da *Universität Stuttgart* –Alemanha, e apoio financeiro da Eletronorte, FINEP e do CNPq.

O WebAPSEE utiliza a linguagem visual WebAPSEE-PML (*Process Modeling Language*) para modelagem de processos. Esta linguagem foi especificada formalmente com gramáticas de grafos [Lima Reis 2003]. A linguagem segue o paradigma de processo orientado a atividades, descrevendo um processo como uma coleção parcialmente ordenada de atividades.

O ambiente possui duas interfaces que interagem dinamicamente entre si descritas a seguir. O *Manager Console* ilustrado pela Figura 24a, possibilita a interação entre o gerente de software e o PSEE. O gerente pode, através da linguagem visual, com símbolos gráficos, modelar e gerenciar execução de processos, visualizar relatórios do processo, bem como cadastrar e gerenciar informações da organização, como pessoas, artefatos e recursos, através de um editor gráfico.

A segunda interface é a *TaskAgenda* (Figura 24b), que possibilita a interação entre o ADS e o desenvolvedor. O desenvolvedor visualiza as suas tarefas dentro dos processos de software em execução através de uma lista de tarefas a serem realizadas. A partir dessa lista de tarefas o desenvolvedor fornece *feedback* sobre o andamento de suas atividades.

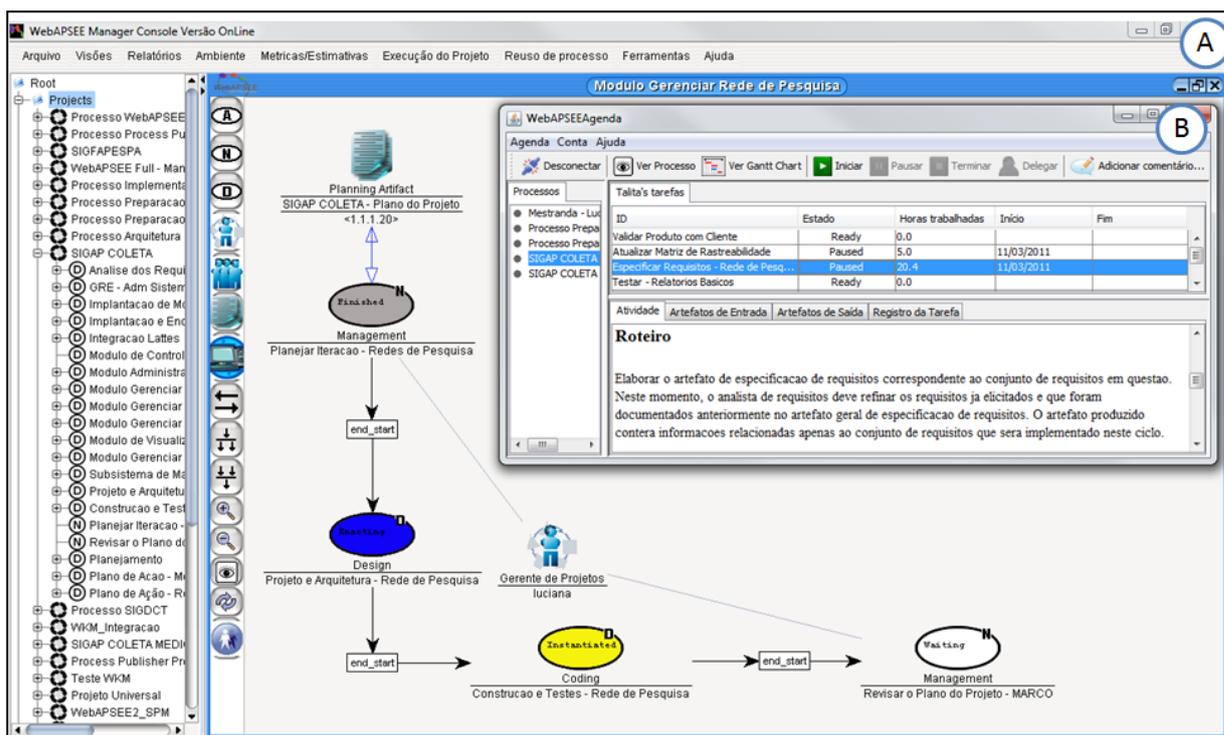


Figura 24. Manager Console (A) e TaskAgenda (B)

O *Manager Console* possui funcionalidades de apoio à medição de software, possibilitando a realização do planejamento, execução e análise dos resultados da medição, tendo foco em dois domínios: Projetos e Organizacional. No **Domínio de Projetos de Software** a medição é realizada de forma a coletar dados acerca de entidades (atividades, artefatos, pessoas, grupos de pessoas, entre outros) do projeto para auxiliar no seu controle e suprir as necessidades de informação da organização. No **Domínio Organizacional** a medição refere-se a entidades da organização e também de seus projetos executados, com o objetivo de possibilitar uma análise comparativa entre eles.

Para apoiar o planejamento da medição no **Domínio de Projetos** de Software, o WebAPSEE permite a criação do Modelo de Plano de Implementação de Medição (MIPModel – *Measurement Implementation Plan Model*) [Nascimento 2007], que especifica um plano-padrão de medição através da definição de Metas de Negócio, Metas de Medição, Questões, Indicadores e Métricas necessárias para gerá-los e, por fim, Relatórios Gerenciais. Por ser um plano-padrão, o MIPModel não especifica as entidades que serão medidas, mas indica o tipo de alvo da medição, a saber: atividades, recursos, agentes (recursos humanos), grupos e/ou artefatos.

É possível criar um ou mais MIPModel no WebAPSEE, conforme as necessidades da organização. Para planejar a medição de um projeto específico, deve-se, então, selecionar um dos MIPModel existentes para criar o Plano de Implementação de Medição (MIP –

Measurement Implementation Plan), que vai ser, portanto, aderente às definições organizacionais. A partir de então se deve especificar quem são os alvos da medição - entidades do projeto para o qual está sendo planejada a medição, em conformidade com os tipos de alvo definidos no MIPModel (Figura 25b). Para atender às necessidades e características específicas do projeto, o MIP pode ser adaptado com a inserção de novos elementos, tais como, novos objetivos de negócio e medição, questões e indicadores, específicos do projeto.

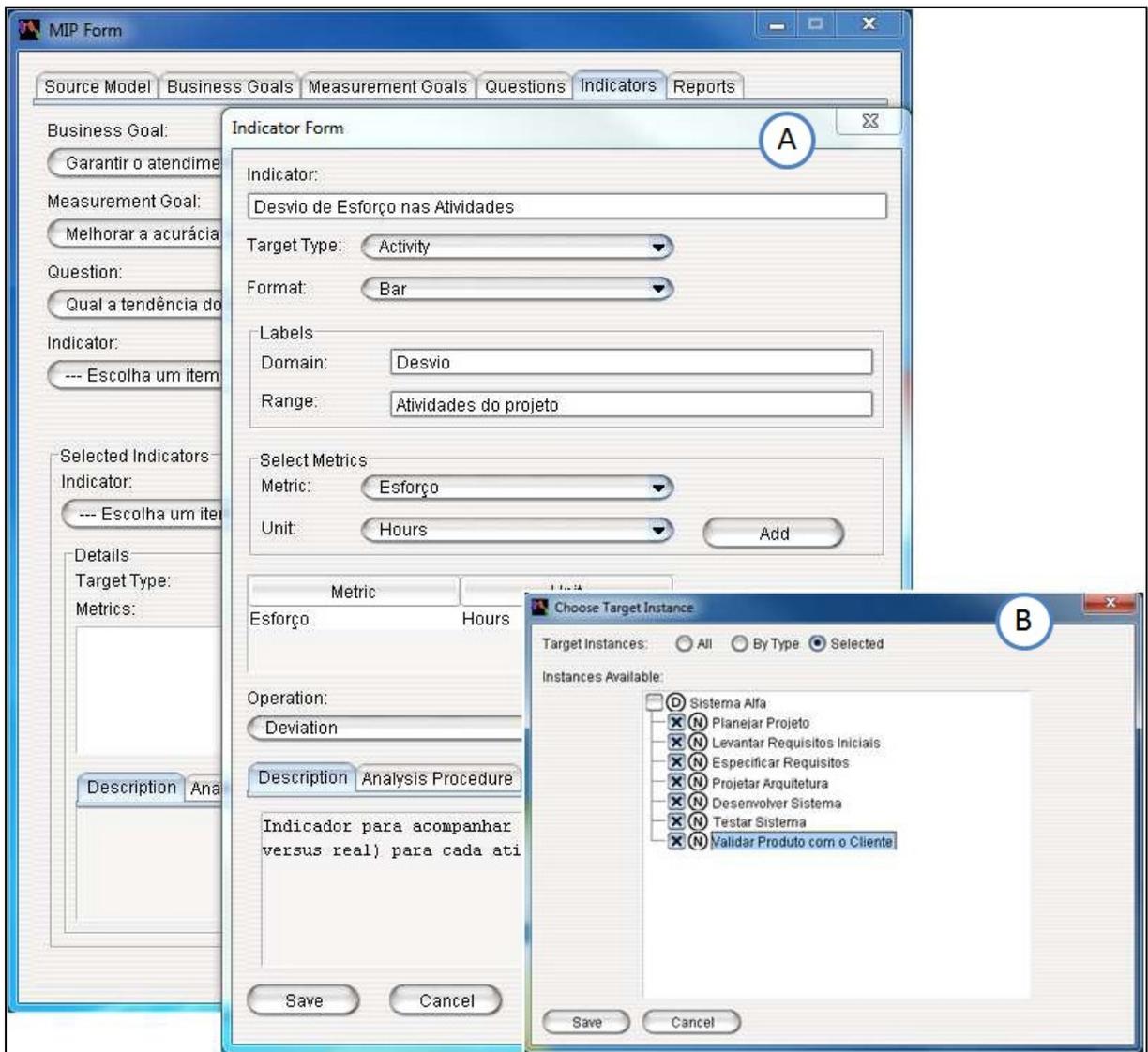


Figura 25. Definição de Indicadores (A) e Seleção de Alvo para Medição (B) [Ribeiro et.al. 2011]

Após a conclusão do planejamento, o WebAPSEE disponibiliza formulários para a execução da medição, possibilitando a realização da estimativa e coleta de métricas (Figura 26b), armazenando os valores na base de dados do ambiente e mantendo a relação com o projeto no qual a medição está sendo executada.

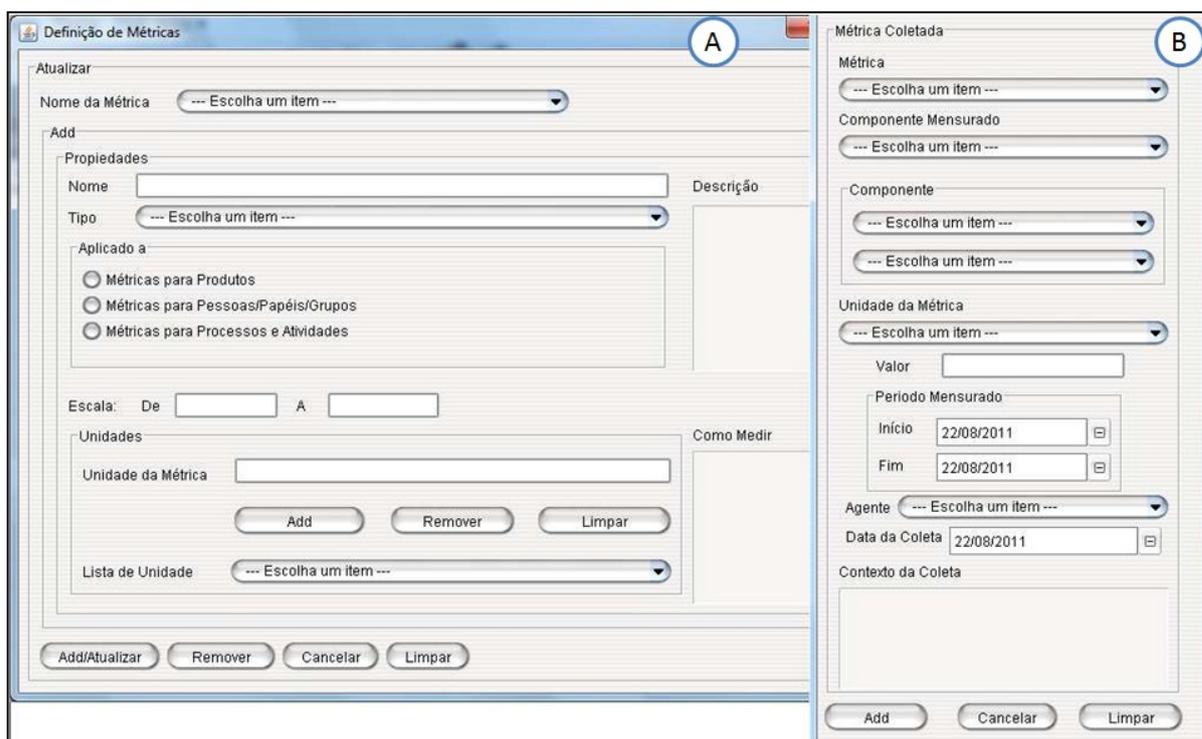


Figura 26. Definição de Métricas (A) e Coleta de métricas (B) [Ribeiro et.al. 2011]

Para realizar a análise dos resultados, pode-se então gerar automaticamente os Indicadores especificados no MIP do projeto além de registrar informações de contexto e a análise do Indicador. Caso o analista deseje gerar outros indicadores, é possível exportar os dados coletados para planilhas eletrônicas. Adicionalmente, o ambiente disponibiliza funcionalidade para geração de Relatórios Gerenciais contendo os Indicadores e suas análises com o objetivo de auxiliar na comunicação dos resultados.

Especificamente para o **Domínio Organizacional**, o ambiente WebAPSEE disponibiliza funcionalidades semelhantes às citadas anteriormente para planejamento, execução e análise dos resultados. No entanto, para este domínio não há necessidade de se criar modelos de plano de medição – têm-se apenas o Plano de Implementação de Medição Organizacional (OrgMIP – *Organizational Measurement Implementation Plan*), que assim como cada MIPModel pode ser evoluído conforme as necessidades de informação da organização mude.

Apesar de ser fornecido apoio à realização da medição, as funcionalidades do WebAPSEE que apoiavam processo de medição não levavam em consideração algumas peculiaridades do CEP, tais como: o planejamento de indicadores estatísticos (gráficos de controle); a identificação de subprocessos críticos; a seleção de projetos e entidades similares; a geração dos gráficos de controle; o estabelecimento de *baselines*; a identificação de problemas e causas; e o planejamento de ações de melhoria.

4.2. Funcionalidades da Ferramenta de Apoio a Controle Estatístico de Processo de Software

Nesta seção são apresentadas as funcionalidades para apoio ao Controle Estatístico de Processo de Software tanto no domínio de projetos, quanto no organizacional. As funcionalidades serão apresentadas utilizando cenários de utilização, baseados em exemplos retirados de [Campos et.al. 2007] e [Florac e Carleton 1999].

4.2.1.CEP para o Domínio Organizacional

O CEP no domínio organizacional possui as seguintes etapas (descritas na Figura 27): planejar (A), executar (B) e avaliar dados da medição (C).

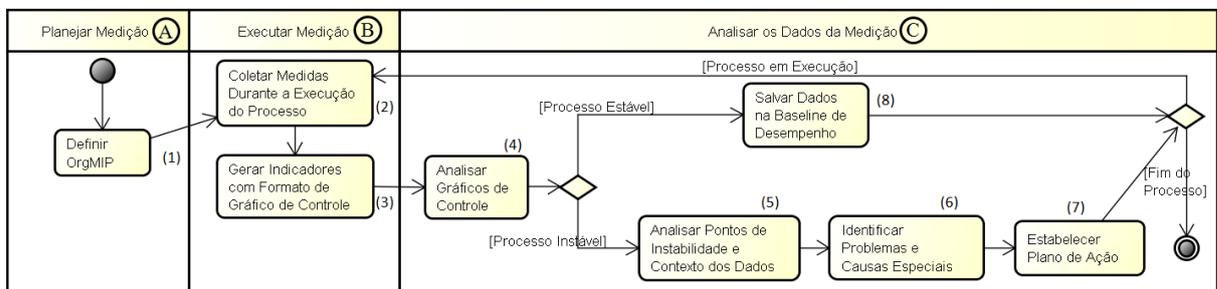


Figura 27. Etapas do CEP no Domínio Organizacional

Passo 1- Definir OrgMIP.

Nessa etapa devem ser definidos primeiramente os objetivos organizacionais (Figura 28a). Para que possa ser realizado o CEP, foi incluído o conceito de subprocessos críticos (Figura 28b), que são os processos fundamentais para que os objetivos da organização sejam alcançados.

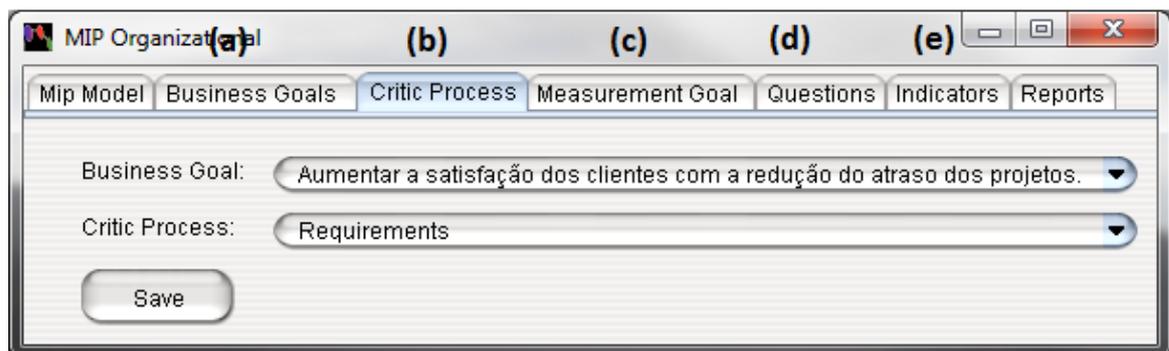


Figura 28. Tela para Definir Subprocesso Crítico

No exemplo mostrado na Figura 28, o subprocesso crítico selecionado foi o de requisitos, pois o objetivo da organização era de aumentar a satisfação dos clientes com a redução do atraso dos projetos. A ferramenta também permite que seja associado mais de um processo crítico a um objetivo de negócio, assim como um processo crítico pode estar associado a mais de um objetivo de negócio.

Após identificar o processo, devem ser definidos os seus objetivos de medição (Figura 28c), questões (Figura 28d) e indicadores (Figura 28e). O Quadro 16 apresenta estas informações cadastradas na ferramenta, como exemplo.

Quadro 16. Valores do Plano de Medição

Objetivo Organizacional	Aumentar a satisfação dos clientes com a redução do atraso dos projetos.
Subprocesso Crítico	<i>Requirements</i>
Meta de Medição	Analisar o processo de requisitos com a intenção de conhecer a produtividade nas atividades de requisitos.
Questão	Qual a produtividade na atividade de descrição dos cenários e conceitos operacionais para cada caso de uso?
Indicador	Produtividade na atividade de requisitos

Além disso, foi adicionado o conceito de Indicador com formato de gráfico de controle. No cadastro de um indicador com esse formato (Figura 29a), devem-se preencher os seguintes campos: (a) *target type*¹ (tipo de alvo) – corresponde à característica do processo que se vai medir (projeto, artefato, atividade, agente e grupo); (b) *metric* (métrica) – métricas definidas e que possuem escala racional ou absoluta; (c) *unit* (unidade da métrica) – são as unidades definidas para a métrica selecionada.

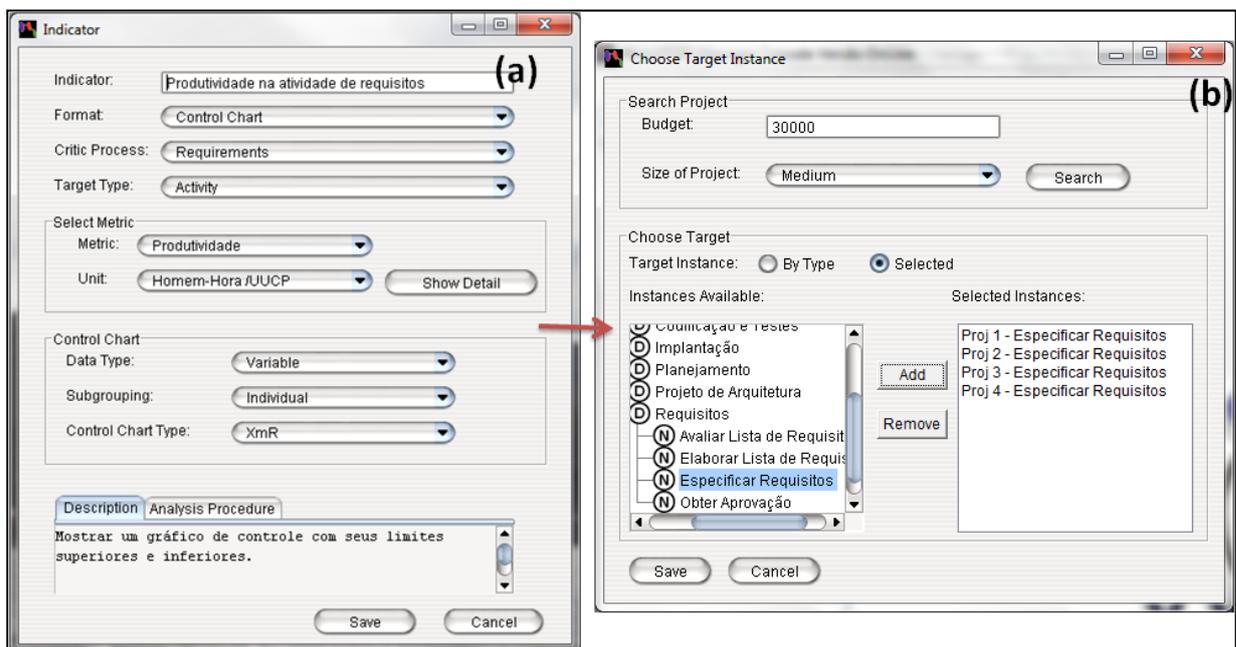


Figura 29. Tela de Definir Indicadores Estatísticos (a) e Tela de Definir Alvos de Medição (b)

Para definir o tipo de gráfico de controle a ser utilizado é necessário definir o tipo de dado (*data type*) que pode ser *variable* (variável) ou *for attribute* (por atributo): (i) quando o tipo de dados for *variable* o usuário pode informar o tipo de agrupamento (*subgrouping*) e o tipo de gráfico de controle (*control chart type*), caso o tipo de alvo for atividade, os

¹ As telas possuem campos em inglês para seguir o padrão das telas do ambiente WebAPSEE.

agrupamentos podem ser temporal (semana, mês e ano) e por atividade, e assim sucessivamente para os demais tipos de alvos; (ii) quando o tipo de dados é por atributo, o usuário pode informar o tipo de gráfico de controle.

A Figura 30a apresenta com detalhes as informações cadastradas para o indicador. Seguindo o exemplo, foi cadastrado um indicador de produtividade na atividade de requisitos, em que as métricas a serem coletadas são a produtividade (Homem-Hora / UUCP) em atividades (tipo de alvo) e o formado é gráfico de controle do tipo XmR.

Com o indicador definido, é necessário identificar quais projetos podem ser medidos (projetos similares), levando em consideração os critérios estabelecidos na organização para caracterização dos projetos (Figura 30), nesse caso é orçamento e porte do projeto. Sendo que, essas características podem ser configuradas dependendo de como a organização deseja caracterizar seus projetos. Para isso foi definida uma funcionalidade de definição de critérios para caracterização de projetos (Figura 31). Em que é possível definir: nome do critério, tipo (lista de opções, numérico, texto, moeda), se é obrigatório ou não, se for lista de opções, deve-se informar as opções e se são de múltipla escolha ou não.

The image shows a software window titled "Project's Form" with four tabs: "Projects", "Add Final Artifacts", "Project Managers", and "Characteristics". The "Characteristics" tab is active. Inside the tab, there is a section labeled "Criteria". Under "Criteria", there are two rows. The first row is "Budget", which has a text input field containing "30000" and a dropdown menu set to "Real". The second row is "Size of Project", which has a dropdown menu currently showing "Large". Below this dropdown, a list of options is visible: "Large", "Small", and "Midsize". At the bottom of the form area, there is an "Update" button.

Figura 30. Tela para Seleção de Características do Projeto

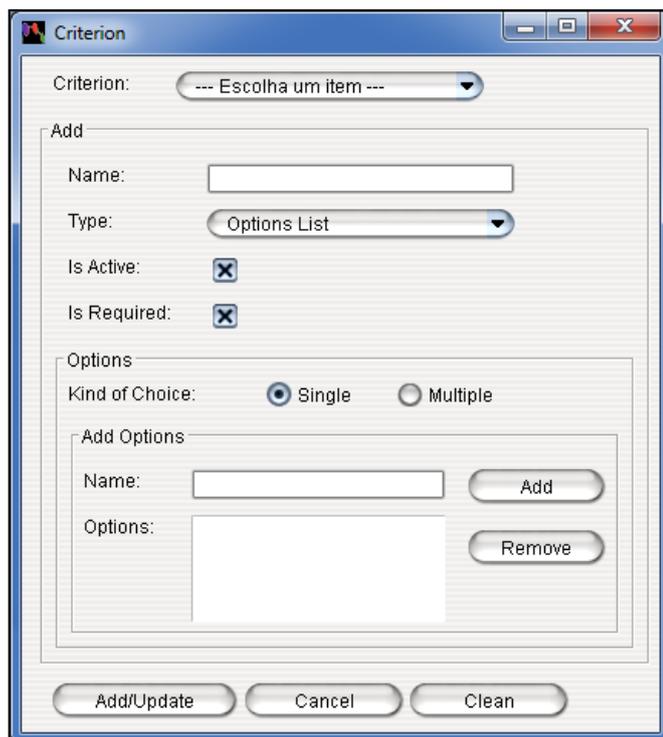


Figura 31. Tela de Definição de Critérios para Caracterização de Projetos

Para a seleção dos alvos foi criado um mecanismo de busca de projetos através destes critérios, que exhibe os projetos que se encaixam nas características selecionadas. O resultado da busca depende dos critérios selecionados e do tipo de alvo. No caso do exemplo, foram procurados projetos com orçamento igual a 30000 e porte médio (Figura 29b). O resultado obtido foram os projetos: Proj1, Proj2, Proj3, Proj4, Proj5.

Através dos projetos retornados é possível selecionar os alvos que se deseja medir, que variam conforme o tipo de alvo selecionado. Para gráficos de controle com tipos de dados variáveis e com agrupamentos temporais, somente um alvo pode ser selecionado, caso contrário mais de um alvo pode ser selecionado.

Como no exemplo ilustrado o tipo de alvo foi atividade e o agrupamento dos dados individual, então, na árvore de projetos aparecem as atividades que compõem o projeto e é possível selecionar mais de uma atividade por projeto. Na Figura 29b, foram selecionadas as atividades de “Especificar Requisitos”, relacionadas aos projetos citados.

Após definir os alvos de medição, é necessário verificar se a periodicidade da coleta da métrica condiz com o indicador escolhido e se esta já está sendo coletada. No exemplo foi definido que a periodicidade da métrica era semanal (Figura 32).

Figura 32. Tela de Definição de Periodicidade.

Passo 2 - Coletar Medidas Durante a Execução do Processo

Após definir o OrgMIP, deve-se iniciar a coleta das métricas conforme o que foi configurado no OrgMIP. Os dados utilizados no exemplo são mostrados na Tabela 8 (os dados nesse caso foram retirados e adaptados de [Florac e Carleton 1999]).

Tabela 8. Dados de Produtividade dos Projetos (Antes das Melhorias)

Projeto	Produtividade (Homem-Hora/UUCP)				
Projeto 1	50,5	43,5	45,5	39,8	42,9
Projeto 2	44,3	44,9	42,9	39,8	
Projeto 3	39,3	29,9	51		
Projeto 4	44,3	43	51,3	46,3	45,2
Projeto 5	48,1	45,7	44,1	40,6	

Passo 3 – Gerar Indicadores com Formato de Gráfico de Controle

Após o início da coleta das métricas o gráfico de controle pode ser gerado durante ou após a execução dos projetos. Caso o usuário deseje analisar os dados externamente, o sistema permite que estes dados sejam exportados para o formato *CSV (Comma-Separated Values)*.

Para gerar o gráfico de controle é necessário selecionar a meta de negócio, o subprocesso crítico, a meta de medição, a questão e o indicador, sendo possível alterar o tipo

de gráfico e agrupamento escolhidos no planejamento, pois nessa fase pode-se perceber que determinado gráfico é mais indicado que o outro. O sistema pode recomendar a alteração do tipo de gráfico, por exemplo, se o tipo escolhido no planejamento foi X-Bar/R e o tamanho dos agrupamentos forem maiores que dez [Florac e Carleton 1999], o sistema sugere que seja alterado o tipo para X-Bar/S. Após isso, são realizados os testes de estabilidade e o gráfico é gerado. Na Figura 33 é ilustrado um exemplo da tela gerada, dividida nas seguintes áreas:

- Área 1: mostra os gráficos de controle gerados a partir dos dados coletados.
- Área 2: apresenta os valores de cada ponto do gráfico, além de permitir que sejam selecionados pontos a serem omitidos. Além disso, para cada ponto é possível visualizar (através da opção *see details*) algumas informações, como: o alvo, período e contexto da coleta e, caso o ponto seja um agrupamento, mostra o período e cada valor coletado para alvo.
- Área 3: é possível visualizar a descrição do indicador e o procedimento de análise definido e informar a análise realizada, observações e lições aprendidas.

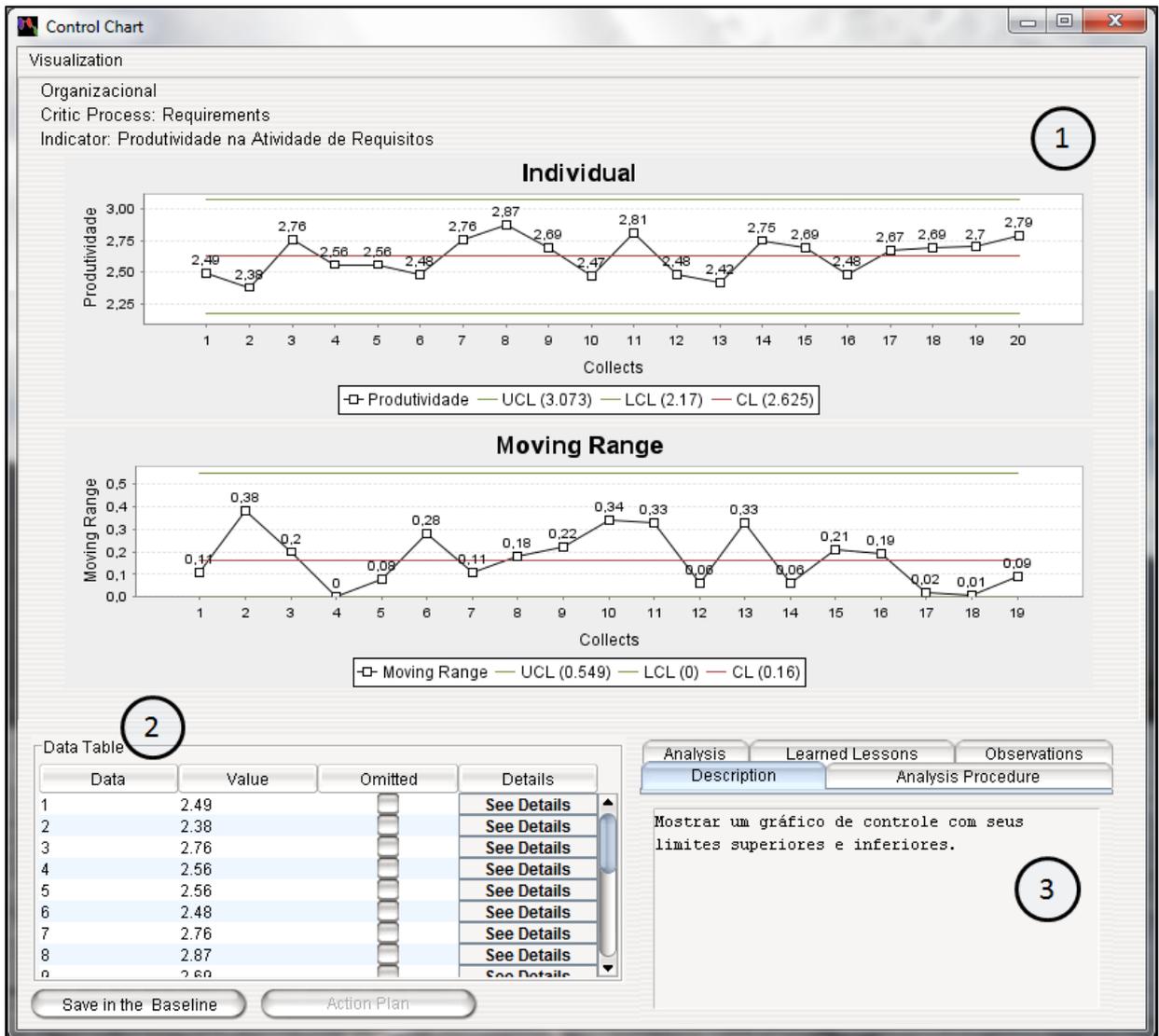


Figura 33. Tela do Gráfico de Controle de um Processo Estável

Passo 4 – Analisar Gráficos de Controle

A Figura 34a apresenta o gráfico gerado a partir da Tabela 8. Nesse caso, o processo está instável e o sistema destaca visualmente o ponto que demonstra instabilidade. Neste caso devem-se seguir os passos 5, 6 e 7. Caso o processo esteja estável, deve-se seguir para o passo 8.

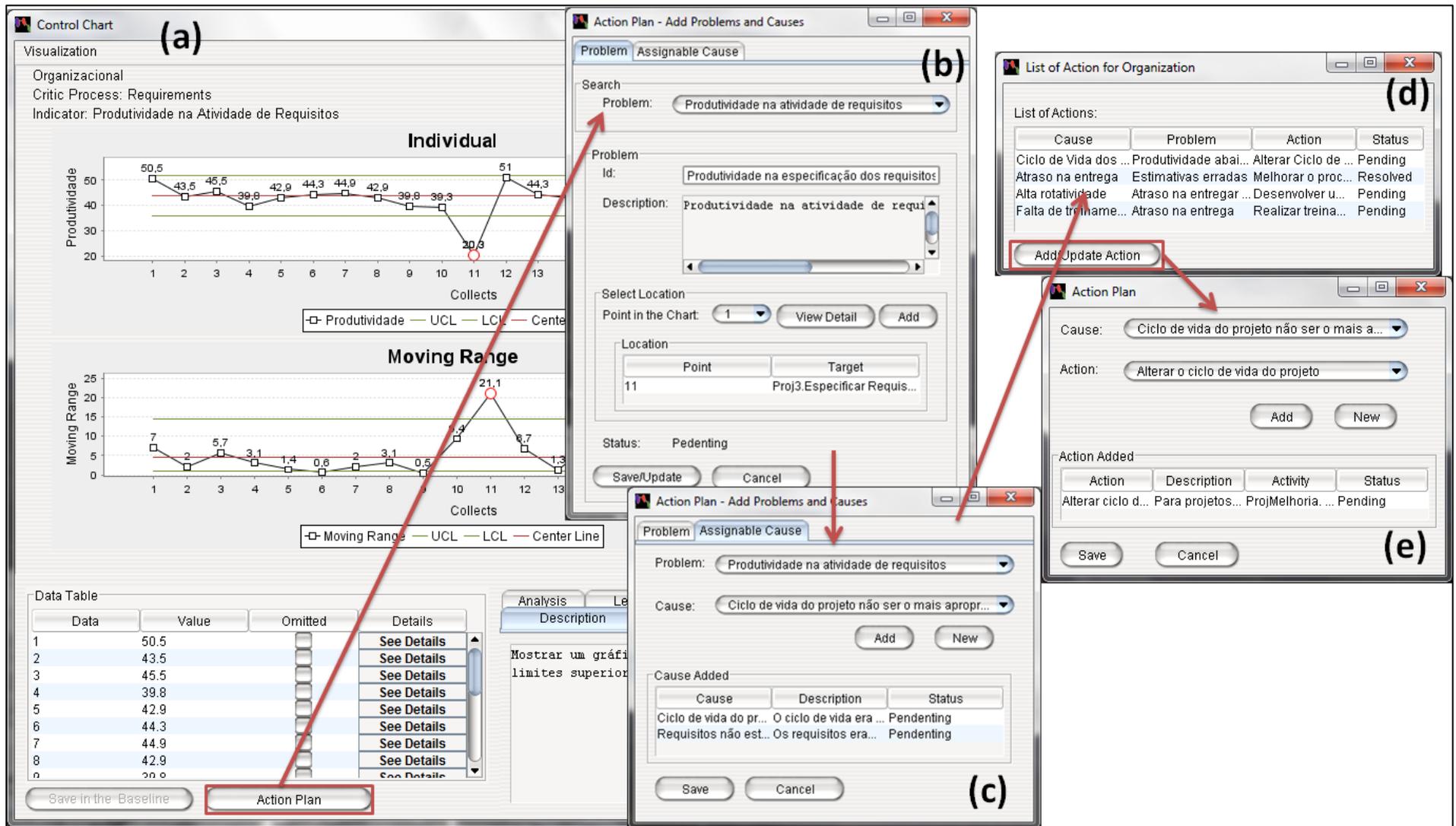


Figura 34. Tela do Gráfico de Controle de um Processo Instável (a), Tela de Cadastro de Problemas Encontrados (b) e Tela de Cadastro das Causas Especiais Relacionadas aos Problemas (c), Tela de Lista de Ações de Melhoria da Organização (d) e Tela de Cadastro de Ações (e).

Passo 5 - Analisar Pontos de Instabilidade e Contexto dos Dados.

Através da opção *see details* é possível iniciar a análise destes pontos de instabilidade, através de suas informações de contexto.

Passo 6 – Identificar Problemas e Causas Especiais

A opção *action plan* possibilita o cadastramento dos problemas (Figura 34b) e causas especiais (Figura 34c) relacionados ao ponto de instabilidade do processo.

No exemplo (Figura 34b), o problema encontrado foi à produtividade na atividade de requisitos ser menor do que o esperado. Então (Figura 34c) foi identificada a causa relacionada a esse problema, que foi o ciclo de vida do projeto que não é o mais apropriado, pois era cascata e os requisitos eram constantemente alterados.

Passo 7 - Estabelecer Plano de Ação

Após identificar os problemas e suas causas, pode-se registrar as ações de melhoria a serem realizadas (Figura 34e). Cada ação é relacionada com as atividades de um projeto em execução no WebAPSEE. A Figura 34d exibe o exemplo da lista de ações de melhoria a serem realizadas na organização e a situação de cada uma delas.

Após serem realizadas as melhorias, é necessário que novas medidas sejam coletadas para que seja verificada novamente a estabilidade do processo.

Passo 8 - Salvar Dados na *Baseline* de Desempenho.

Na Tabela 9 são mostrados os novos dados coletados, após a melhoria do processo. A Figura 33 apresenta o gráfico gerado, como é possível verificar o processo encontra-se estável e o gráfico possui vinte pontos. Nesse caso, é possível salvar a *baseline* de desempenho do processo e os dados salvos são apresentados na Tabela 10. Caso a *baseline* seja atualizada, é necessário informar o motivo da alteração. Os limites utilizados nos próximos gráficos de controle gerados podem ser: os calculados através dos dados coletados, os atribuídos pelo gerente ou os oriundos da *baseline* (caso exista). O sistema ainda permite que os dados da *baseline* possam ser recuperados através de um relatório de *baselines*.

Tabela 9. Dados de Produtividade dos Projetos nos Meses 10, 11, 12 de 2006 (Após Melhorias Realizadas)

Projeto	Produtividade (Homem-Hora/UUCP)				
Projeto 3	2,49	2,38	2,76	2,56	2,56
Projeto 5	2,48	2,76	2,87	2,69	
Projeto 7	2,47	2,81	2,48		
Projeto 8	2,42	2,75	2,69	2,48	2,67
Projeto 9	2,69	2,70	2,79		

Tabela 10. Detalhamento da *Baseline* para o indicador de Produtividade nas Atividades do Processo de Requisitos

Baseline							
Versão	Tipo	Contexto	Razão de Mudança	Data de Criação	Responsável	Período Inicial	Período Final
1	1	-	-	10/04/2010	Lucélia	01/10/2006	20/12/2006
Tipo de Gráfico de Controle							
X-Bar			mR				
Limite Inferior	Média	Limite Superior	Limite Inferior	Média	Limite Superior		
2,17	2,625	3,073	0	0,16	0,549		

Os Resultados da Avaliação podem ser divulgados através de relatórios gerenciais, que agregam as seguintes informações: projeto, metas organizacionais e de medição, questões, indicador, subprocesso crítico, gráfico de controle gerado, tabela de dados, análises realizadas, problemas e causas encontradas, ações de melhoria e *baseline* de desempenho do processo.

4.2.2.CEP no Domínio de Projetos

As etapas para realização do CEP no domínio de projetos (Figura 35) são similares à sua aplicação no domínio organizacional.

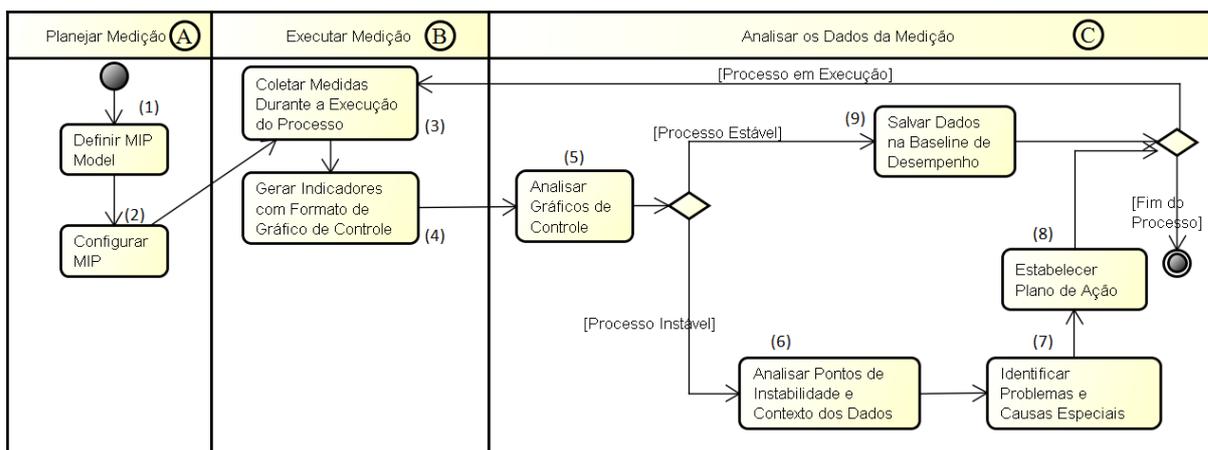


Figura 35. Etapas do CEP no Domínio de Projetos

Na etapa de Planejar Medição, é possível definir MIPModel. E, a partir dele, é possível instanciar um MIP, em que podem ser incluídas as características de um projeto particular. Para um indicador de projeto, podem ser definidos somente os seguintes alvos: artefato, atividade, agente e grupo. Além disso, na tela de alvos, não é disponibilizada a busca por projetos similares, pois o MIP se relaciona a um projeto específico.

As etapas de Executar Medição e Analisar os Dados da Medição seguem o mesmo princípio do domínio organizacional.

4.3. Simulação de um Processo Real

Para verificação de alguns pontos positivos e negativos da ferramenta foi realizada a simulação de alguns processos reais citados em alguns artigos, tais como: [Campos et.al. 2007], [Florac e Carleton 1999] e [Montoni et.al.2007]. A seguir será apresentada uma simulação do controle estatístico em um projeto executado no WebAPSEE.

O projeto escolhido possui aderência ao nível G do MR-MPS-SW e estava em processo de implantação da Medição do nível F. Além disso, utiliza como modelo de ciclo de vida o iterativo incremental (Figura 36) , no qual cada módulo do sistema corresponde a um conjunto de funcionalidades desenvolvidas em uma iteração específica do processo.

A Figura 36 apresenta o projeto simulado no ambiente WebAPSEE, o projeto foi iniciado com a atividade decomposta de planejamento, que possui as seguintes subatividade: elaboração da proposta técnica, estimativas, elaboração do plano de projeto. Após o final dessa atividade é realizada uma atividade de análise de requisitos, onde são levantados e especificados requisitos gerais do projeto. As atividades seguintes correspondem aos módulos de funcionalidades da ferramenta, cada um dos módulos possui um processo de desenvolvimento, tais como: atualização do plano de projeto, análise de requisitos, projeto, desenvolvimento e teste. E, por fim, a implantação e encerramento do projeto.

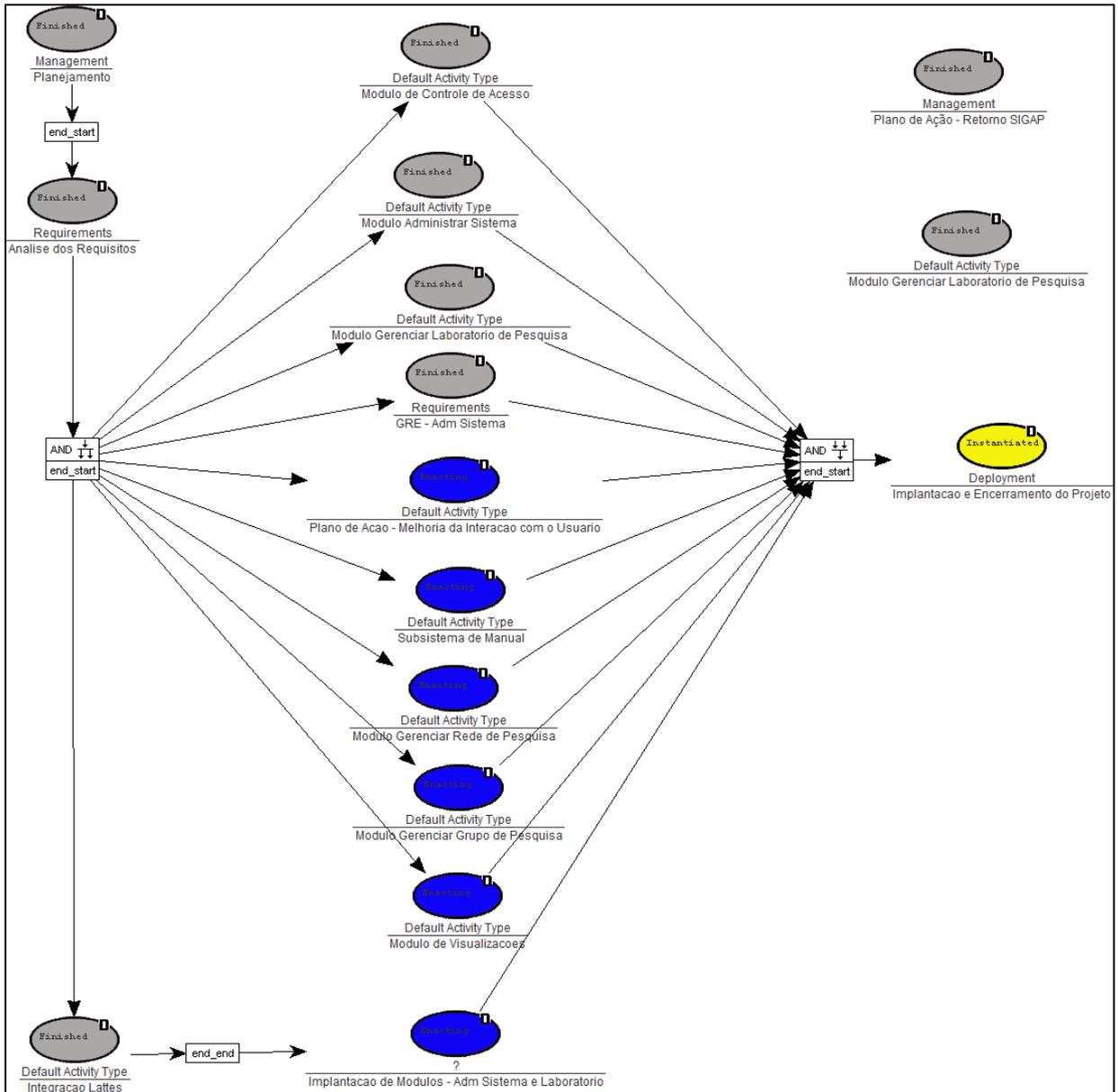


Figura 36. Projeto Simulado

A gerência do projeto avaliado tinha como objetivos organizacionais: garantir o cumprimento aos prazos acordados e garantir a qualidade do produto e documentação a ser entregue. Dessa feita, inicialmente houve a necessidade de escolher dentre os subprocessos existentes um cujos impactos afetariam no atendimento ou não de ambas as metas estabelecidas pela gerência.

Dessa forma, identificou-se que o acompanhamento quantitativo do processo de requisitos, especificamente nas atividades de revisão em par dos documentos de requisitos, era essencial para a análise do número de defeitos inseridos no produto que impacta diretamente na qualidade deste. Dessa forma, é importante ainda avaliar o impacto que a ocorrência de defeitos acarreta no processo de desenvolvimento geral do software.

Como exemplo da importância da análise quantitativa dos defeitos inseridos durante esse subprocesso, tem-se o impacto no esforço de retrabalho. Se o número de defeitos encontrados durante uma iteração do processo, ou mesmo em um projeto, não estiver dentro dos limites estabelecidos como estável, haveria a necessidade de verificação dos impactos de prazo para retrabalho que essa instabilidade produziria. Sendo assim, a identificação de pontos fora dos limites esperados apesar de poder produzir impactos, estes poderiam ser previstos e adequadamente tratados.

A Figura 37 apresenta o detalhamento das atividades de análise dos requisitos do processo de requisitos, que é composta pela atividade de: analisar requisitos e revisar plano de projetos. O detalhamento da atividade de analisar requisitos é vista na Figura 38. Essa atividade inicia com a atividade de analisar requisitos, em seguida são realizadas duas atividades em paralelo que são a de criar a matriz de rastreabilidade e revisar a especificação de requisitos. E, por fim, é realizada a revisão da matriz de rastreabilidade.

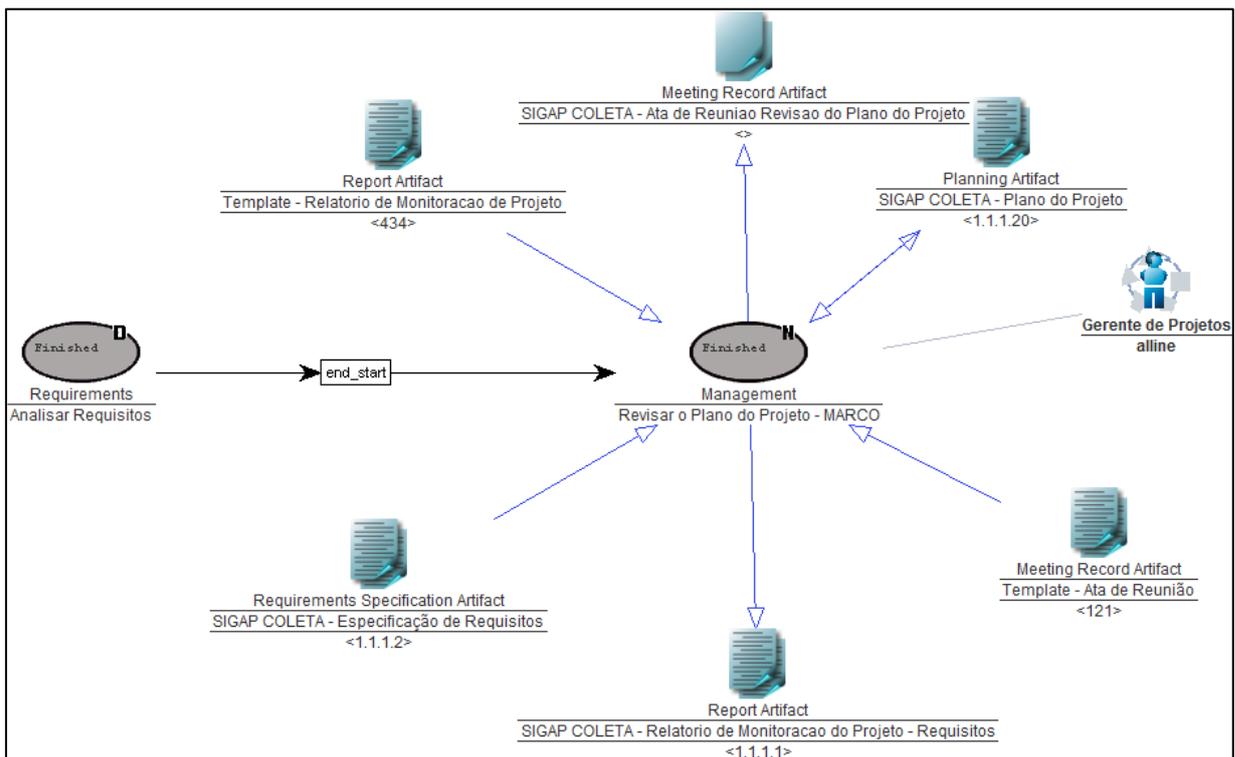


Figura 37. Atividade de Análise dos Requisitos

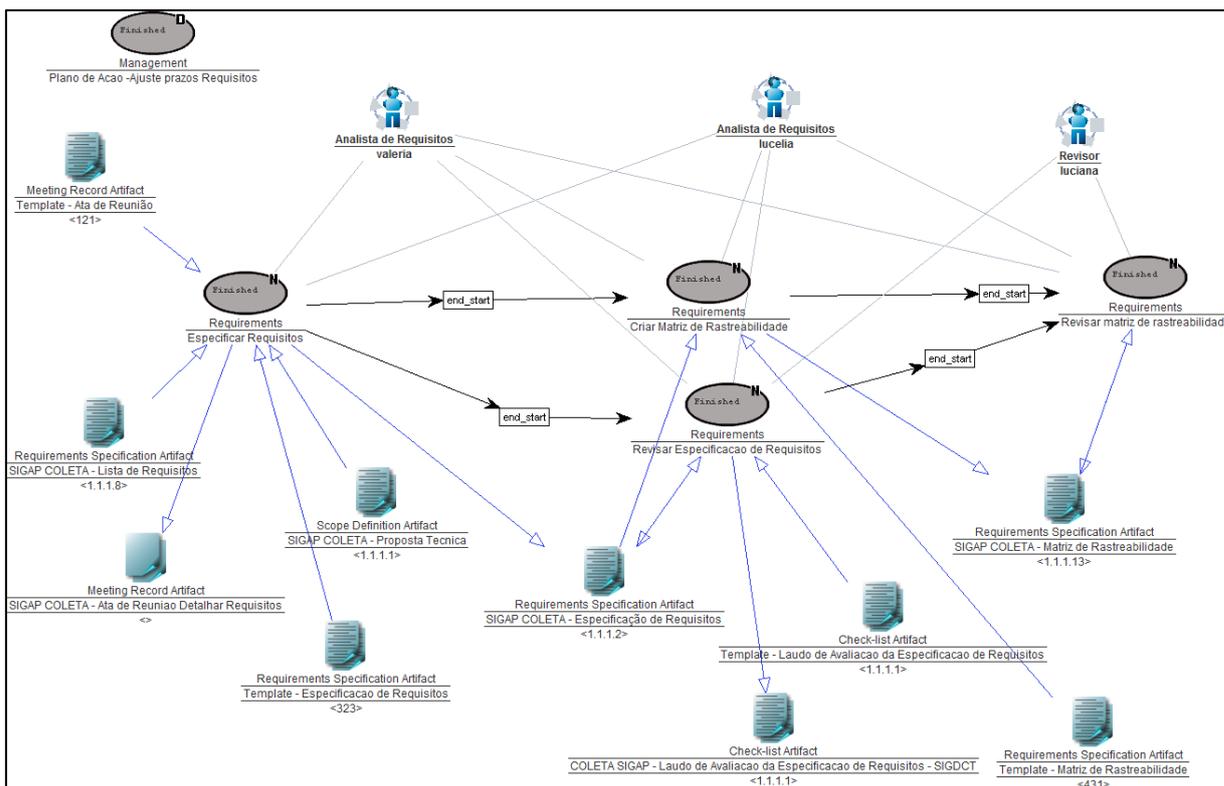


Figura 38. Detalhamento da Atividade Decomposta de Analisar Requisitos

Para iniciar o processo de controle estatístico de processo de software, deve-se definir um MIP-Model. A Figura 39 mostra o *menu* para definição de um novo MIP-Model.

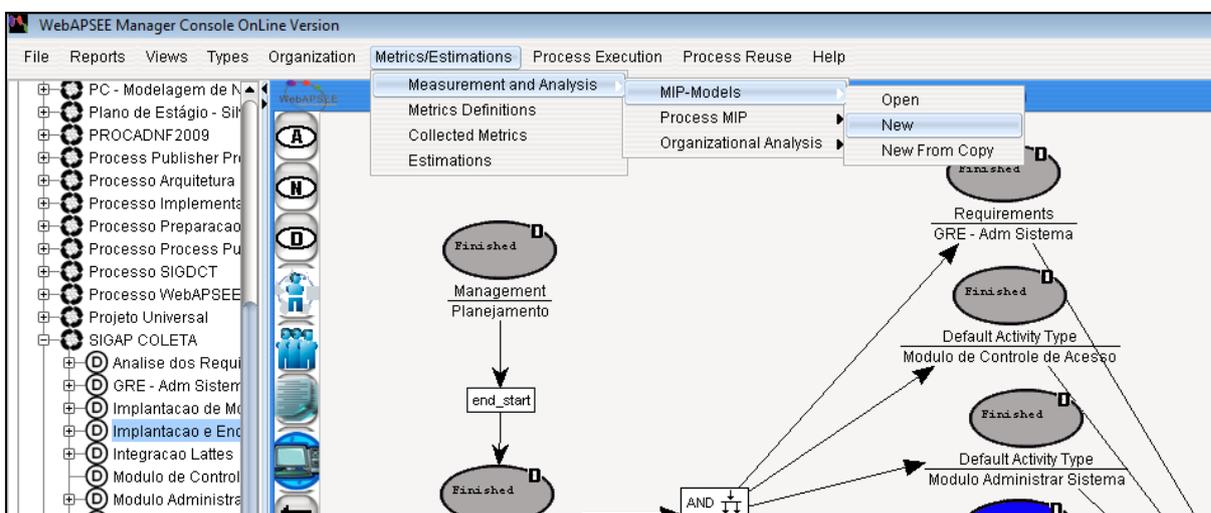


Figura 39. Menu para Definição de um Novo MIP-Model

Para definir o MIP-Model primeiramente foi realizada uma descrição do modelo de plano de medição (Figura 40).

The screenshot shows a window titled "MIP Model Form" with a tabbed interface. The "MIP Model" tab is selected, and the "Business Goals" sub-tab is active. The form contains the following fields:

- Name:** Plano de Medicao Organizacional
- Applied For:** Lucelia
- Description:** Plano de Medicao para ser usado como modelo pelos projetos da organizacao

At the bottom of the window, there are three buttons: "Create a New Version", "Save as Defined", and "Save".

Figura 40. Tela de Descrição do MIP-Model

Em seguida, foram definidos os objetivos de negócios (Figura 41).

The screenshot shows the same "MIP Model Form" window, but now the "Business Goals" sub-tab is active. The form contains the following elements:

- Business Goal:** A dropdown menu with the selected option "Garantir o cumprimento aos prazos acordados".
- Buttons:** "Add To List" and "New".
- Inserted Goals:** A list box containing two items: "Garantir a qualidade do produto e documentação a ser entregue" and "Garantir o cumprimento aos prazos acordados".
- Button:** "Remove Selected" at the bottom right.

Figura 41. Tela de Definição de Objetivos de Negócio

O subprocesso crítico selecionado é apresentado na Figura 42, no caso do processo simulado foi o de requisitos.

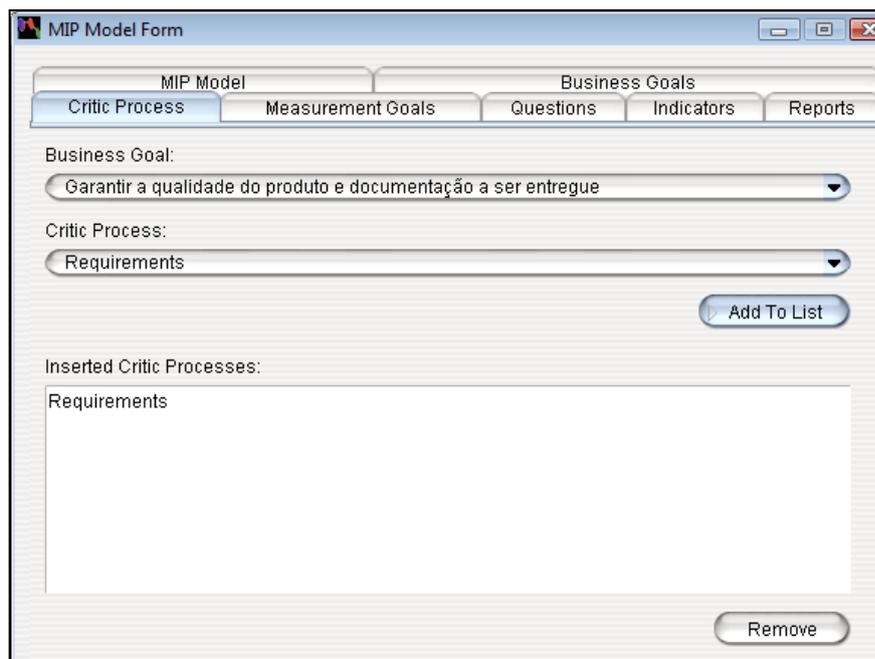


Figura 42. Tela de Definição de subprocesso Crítico

Por conseguinte, foram definidos os objetivos de medição (conforme Figura 43). Para o objetivo de negócio de garantir a qualidade do produto e documentação a ser entregue foi definido o objetivo de medição de aumentar o controle do desempenho das atividades de revisão de especificação de requisitos.

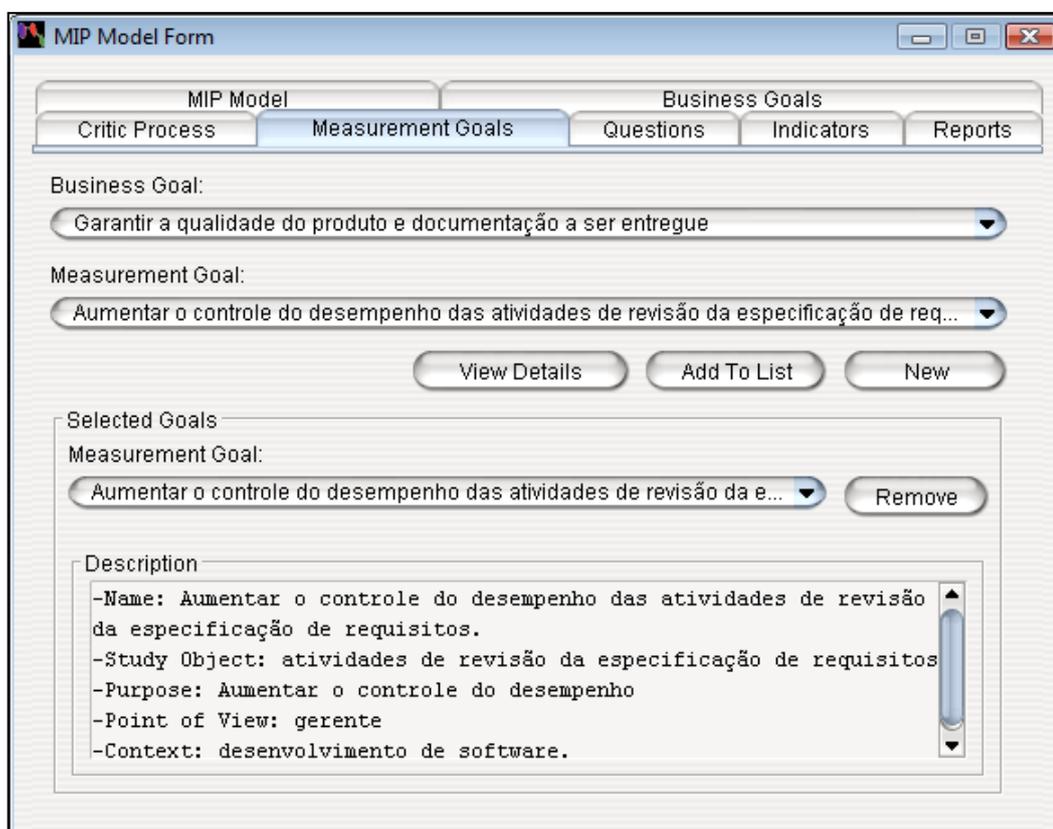


Figura 43. Tela de Definição de Objetivos de Medição

A questão de medição definida para o objetivo de medição acima descrito é apresentada na Figura 44 a questão definida foi: Qual o número de defeitos identificados na atividade de revisão de especificação de requisitos?

The screenshot shows a software window titled "MIP Model Form". It has a tabbed interface with two main sections: "MIP Model" and "Business Goals". Under "Business Goals", there are five sub-tabs: "Critic Process", "Measurement Goals", "Questions", "Indicators", and "Reports". The "Questions" tab is currently selected. Below the tabs, there are three dropdown menus for defining a question: "Business Goal:" (selected: "Garantir a qualidade do produto e documentação a ser entregue"), "Measurement Goal:" (selected: "Aumentar o controle do desempenho das atividades de revisão da especificação de req..."), and "Question:" (selected: "Qual o número de defeitos identificados na atividade de revisão de especificação de req..."). To the right of these dropdowns are two buttons: "Add To List" and "New". Below this section is a text area labeled "Inserted Questions:" containing the text "Qual o número de defeitos identificados na atividade de revisão de especificação de requisitos?". At the bottom right of the window is a "Remove" button.

Figura 44. Tela de Definição de Questões de Medição

O indicador selecionado para responder a questão acima foi o de densidade de defeitos encontrados na atividade de especificação de requisitos. Esse indicador possui formato de gráfico de controle e o tipo de gráfico de controle que se espera ser gerado é o XmR. A métrica selecionada para o indicador foi a de densidades de defeitos e a unidade foi de número de defeitos/PF.

MIP Model Form

MIP Model Business Goals

Critic Process Measurement Goals Questions Indicators Reports

Business Goal:
Garantir a qualidade do produto e documentação a ser entregue

Measurement Goal:
Aumentar o controle do desempenho das atividades de revisão da especificação de req...

Question:
Qual o número de defeitos identificados na atividade de revisão de especificação de req...

Indicator:
Densidade de defeitos encontrados nas atividades de revisão de especificação de requi...

Add To List New

Selected Indicators

Indicator:
Densidade de defeitos encontrados nas atividades de revisão de ... Remove

Details

Target Type: Activity
Format: Control Chart Type: Variable - XMR

Metrics:
Densidade de Defeitos - unit: Número de Defei Metric Details

Description Analysis Procedure

1 -Verificar o número de medidas coletadas.
2- e o valor de alguma métrica exceder os limites naturais do processo,verificar as instabilidades, as causas e problemas.
3- Caso negativo salvar a baseline do processo.

Figura 45. Tela de Definição de Indicadores

Para o indicador acima foi necessário criar a definição de densidades de defeitos (conforme a Figura 46).

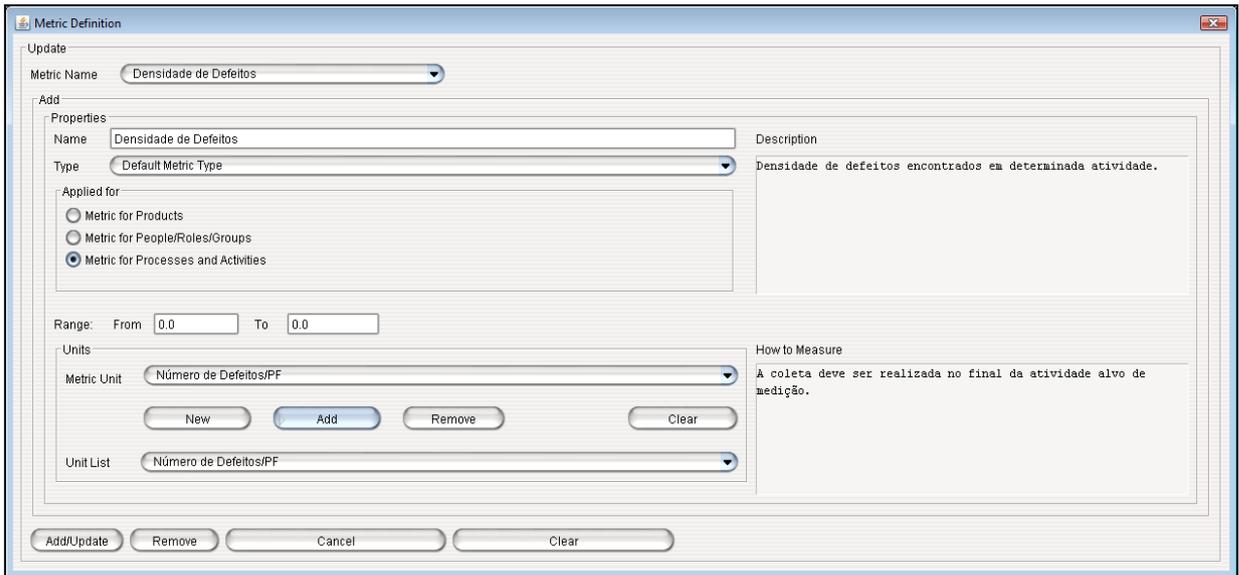


Figura 46. Tela de Definição de Métricas

Depois de definido o MIP-Model, deve-se definir o MIP. A Figura 47 mostra o *menu* para a instanciação de um MIP-Model em MIP.

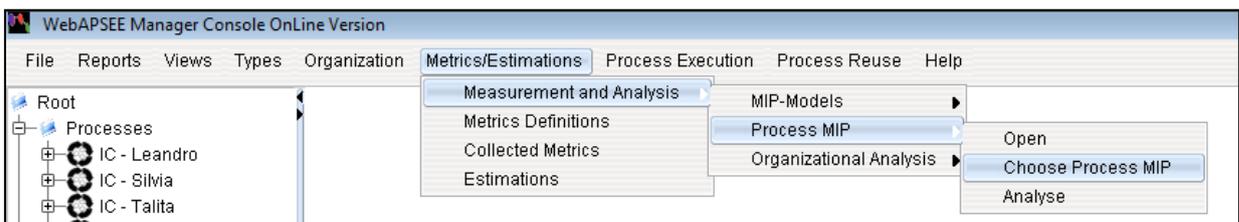


Figura 47. Menu para Definição de MIP

Para a definição do MIP, foi selecionado primeiramente o MIP-Model que seria utilizado como modelo (Figura 48).

The image shows a software window titled "MIP Form". It contains the following elements:

- Process:** A dropdown menu with "SIGAP COLETA" selected.
- MIP Model:** A dropdown menu with "Plano de Medicao Organizacional" selected.
- MIP Model Applied For:** A text input field containing "Lucelia".
- Description:** A text area containing the text: "Plano de Medicao para ser usado como modelo pelos projetos da organizacao".
- Buttons:** "Save" and "Cancel" buttons at the bottom.

Figura 48. Tela de Relacionamento entre MIP-Model e MIP

Nesse caso, não foram adicionados novos elementos ao MIP (objetivos de negócio, subprocesso crítico, objetivos de medição, questões e indicadores), além dos definidos no MIP-Model. No entanto, no MIP é necessário que sejam definidos elementos do projeto a serem medidos, que são os alvos de medição. A Figura 49 mostra a tela de seleção de alvos de medição, foram selecionadas as atividades de revisão de especificação de requisitos do módulo de controle de acesso, laboratório, redes e gerenciar grupos.

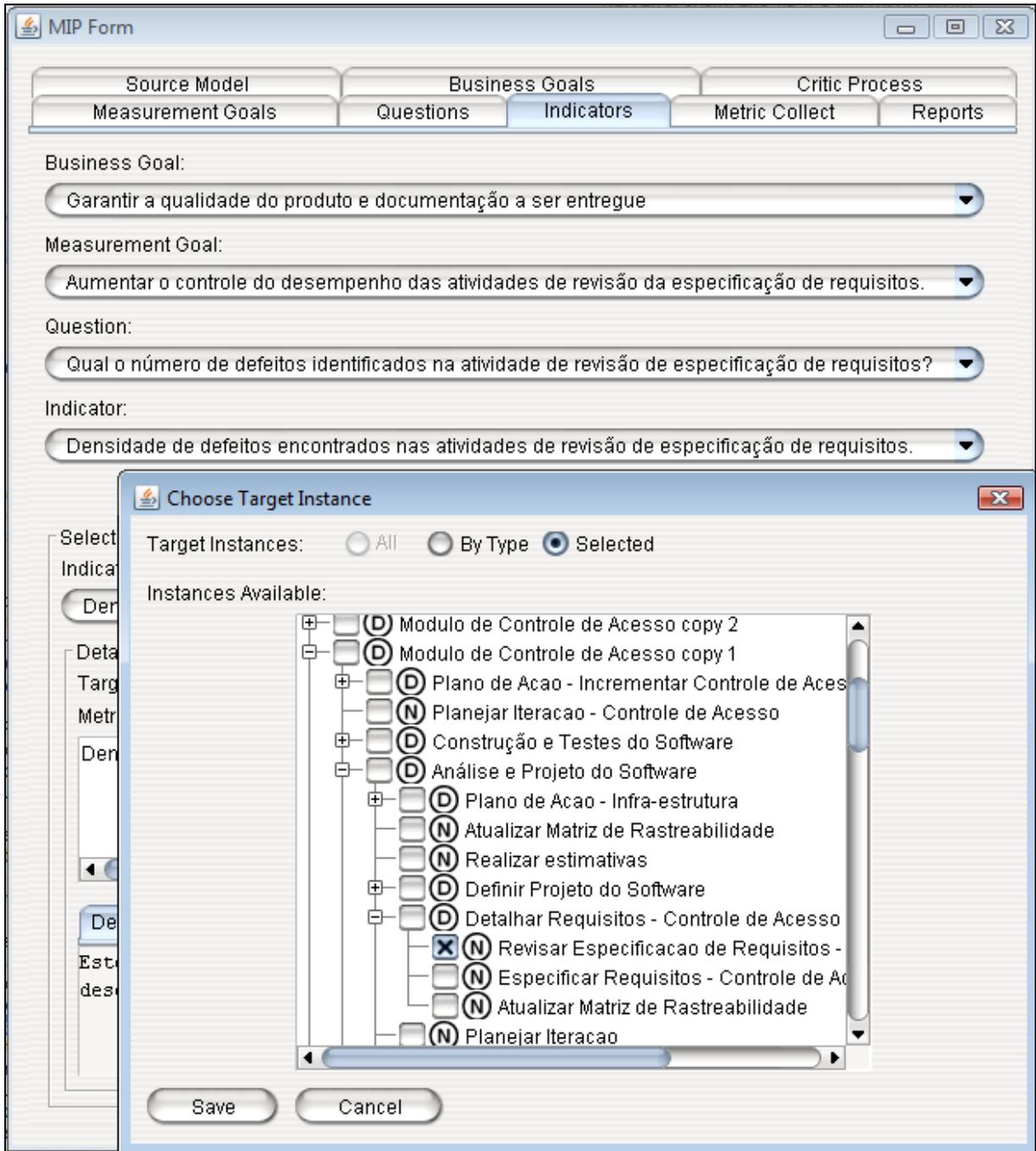


Figura 49. Tela de Escolha dos Alvos de Medição do Indicador

Em seguida, foi definida periodicidade que deveria ocorrer à medição da densidade dos defeitos encontrados nas atividades de revisão das especificações de requisitos (Figura 51).

MIP Form

Source Model | Business Goals | Critic Process

Measurement Goals | Questions | Indicators | **Metric Collect** | Reports

Select Metric

Metric:

Unit:

Indicator Characteristic

Target Type:

Target:

Indicator	Subgrouping	Details
Densidade de defeitos encontrados nas atividades de re...	Individual	<input type="button" value="See Details"/>

Select Periodicity

Periodicity:

Periodicity	Activities Validity	Delete
Daily	SIGAP COLETA.Modulo de Controle de Acesso copy 1.A...	<input type="button" value="Delete"/>
Daily	SIGAP COLETA.Modulo de Controle de Acesso copy 6.A...	<input type="button" value="Delete"/>
Daily	SIGAP COLETA.Modulo de Controle de Acesso copy 4.A...	<input type="button" value="Delete"/>
Daily	SIGAP COLETA.Modulo de Controle de Acesso copy 3.A...	<input type="button" value="Delete"/>

Figura 50. Tela de Definição da Periodicidade de Coleta

Nesse caso para cada atividade alvo foi selecionada que a periodicidade fosse diária (Figura 51).

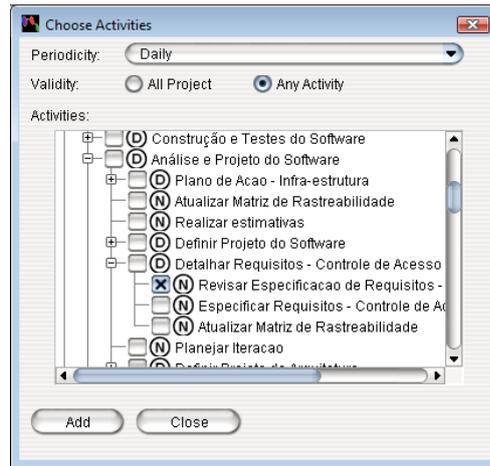


Figura 51. Tela de Seleção da Periodicidade

Após definido plano de medição, foi iniciada a coleta das métricas que foram registrada no WebAPSEE através do formulário da Figura 52.

Figura 52. Tela de Coleta das Métricas

A coleta de métrica foi primeiramente em relação ao número de defeitos encontrados diariamente na atividade de revisão da especificação de requisitos. Em seguida foi aplicada a

fórmula para obtenção da densidade de defeitos (número de defeitos/tamanho do módulo). Na Tabela 11 é apresentado o tamanho de cada módulo e na Tabela 12 é mostrado o valor da densidade de defeito cadastrada para cada módulo.

Tabela 11. Tabela de Tamanho dos Módulos do Projeto

Módulos	Tamanho (ponto por função)
Controle de Acesso	41
Gerenciar Laboratório	89
Redes de Pesquisa	54,55
Gerenciar Grupo	205,43

Tabela 12. Tabela de Dados Coletados para cada Módulo

Módulos	Início	Fim	Valor
Controle de Acesso	07/03/2011	07/03/2011	0.121951
	08/03/2011	08/03/2011	0.243902
	09/03/2011	09/03/2011	0.024390
	10/03/2011	10/03/2011	0.024390
	11/03/2011	11/03/2011	0.121951
Gerenciar Laboratório	06/06/2011	06/06/2011	0.033708
	07/06/2011	07/06/2011	0.033708
	08/06/2011	08/06/2011	0.179775
	09/06/2011	09/06/2011	0.067416
	10/06/2011	10/06/2011	0.011236
Redes de Pesquisa	15/08/2011	15/08/2011	0.219982
	16/08/2011	16/08/2011	0.036664
	17/08/2011	17/08/2011	0.073327
	18/08/2011	18/08/2011	0.604950
	19/08/2011	19/08/2011	0.018332
Gerenciar Grupo	12/09/2011	12/09/2011	0.019471
	13/09/2011	13/09/2011	0.087621
	14/09/2011	14/09/2011	0.092489
	15/09/2011	15/09/2011	0.004868
	16/09/2011	16/09/2011	0.019471

Após os dados terem sido coletados, o gráfico de controle foi gerado (Figura 53). Pode-se verificar que o ponto 9 está fora dos limites de controle. Conforme Florac e Carleton (1999), quando se está iniciando a investigação da estabilidade de um processo e verifica-se que no gráfico de controle existe um ponto de instabilidade pode ser que este indique instabilidade no processo. Nesse caso, deve-se omitir esse ponto do cálculo dos limites de controle, para a o ponto fora do limite não influencie os limites de controle e deixa para que ele seja tratado depois. Quando isso acontece os limites dos gráficos de controle são

estreitados e muitas vezes o resultado é que apareçam novos pontos fora do limite, que devem ser omitidos até que não se tenha outros pontos de instabilidade.

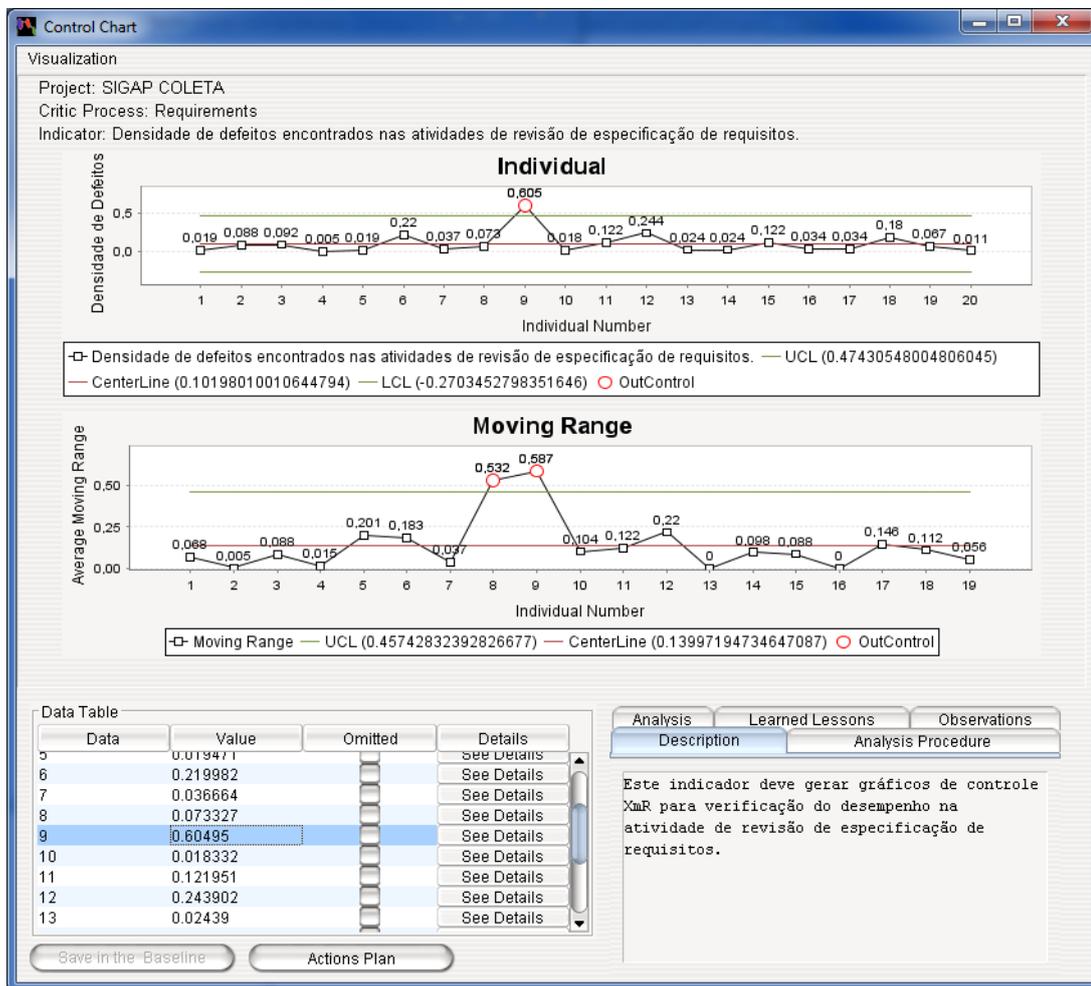


Figura 53. Tela de Geração do Gráfico de Controle

Nesse caso decidiu-se por omitir o ponto 9 do gráfico de controle. A Figura 54 ilustra o resultado após a omissão. O processo apresentou estabilidade e deve continuar a ser medido e acompanhado para verificar se possíveis pontos de instabilidade são encontrados novamente. Se ocorrerem, deve-se investigar os problemas e causas para a instabilidade do processo e planejar possíveis melhorias no processo controlado (conforme passo 7 e 8 da seção 4.2.1).

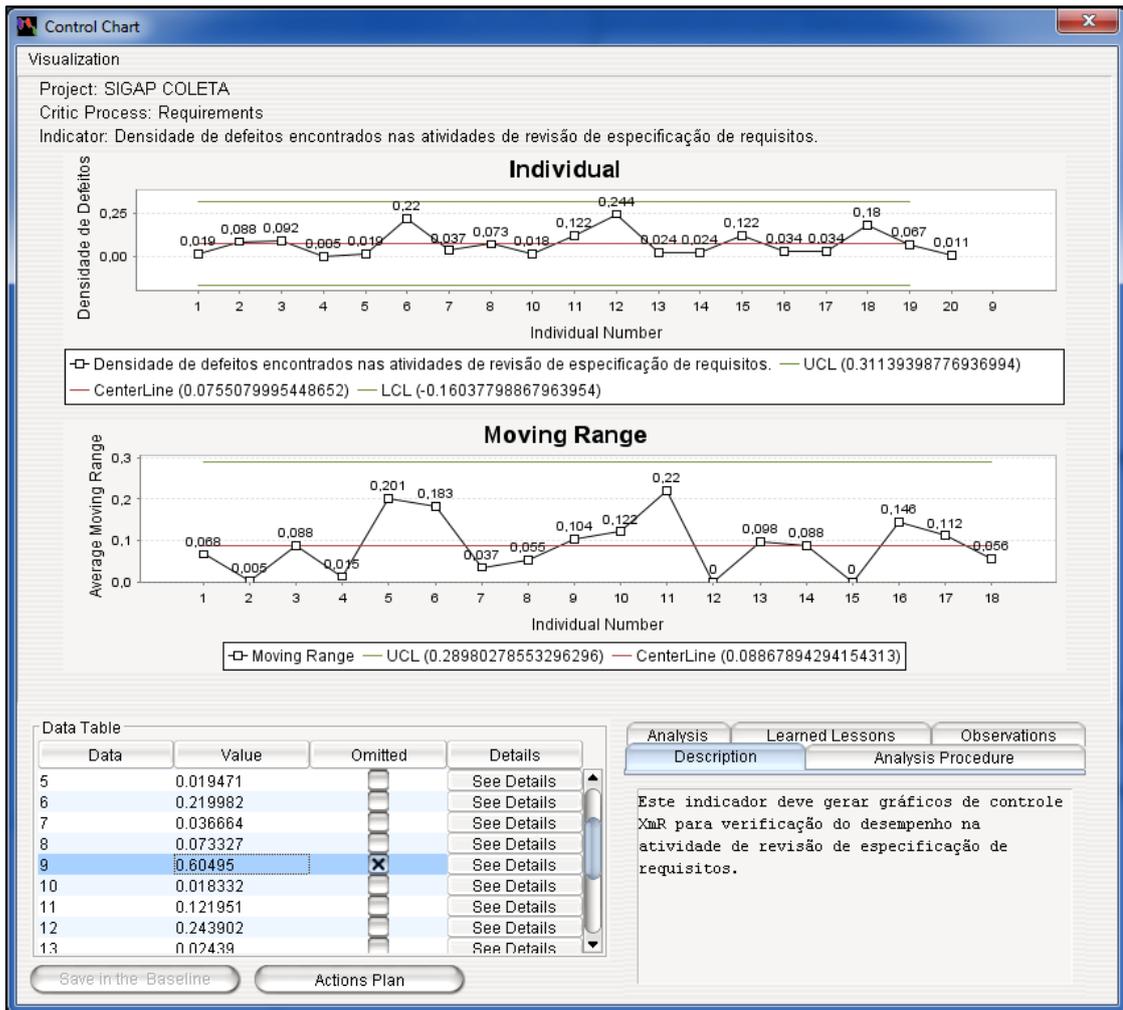


Figura 54. Tela de Geração do Gráfico de Controle com o Ponto 9 Omitido

Através dessa simulação foi possível verificar que a ferramenta proposta executou corretamente o processo de CEP e todas as etapas.

4.4. Aderência da Ferramenta aos Requisitos e ao Processo de Controle Estatístico de Processo de Software

Cada uma das etapas apresentadas para a ferramenta (Figura 27 e Figura 35) está relacionada a um dos requisitos da literatura para processo de controle estatístico de processo de software (vide Quadro 2- seção 3.1), conforme a matriz de rastreabilidade apresentada na Tabela 13. Já a Tabela 14 apresenta a relação das etapas da ferramenta com as atividades e subatividades do processo de controle estatístico de processo de software (seção 3).

Pode-se observar que a ferramenta proposta atende à maioria dos requisitos da literatura, com exceção dos requisitos R8 e R9 e nem as subatividades SA4.1 e SA4.7, que estão relacionadas a definição dos modelos de desempenho e identificação da capacidade do

processo, respectivamente. Os impactos do não atendimento desses requisitos são os seguintes:

- R8: pode prejudicar as organizações nas estimativas dos projetos futuros. No entanto, podem-se elaborar os modelos em ferramentas externas;
- R9: pode acarretar na não identificação de oportunidades de melhorias no processo, pois o processo avaliado pode estar estável, mas não ser capaz de atender os objetivos da organização. Nesse caso, é necessário que a verificação da capacidade seja feita em uma ferramenta externa. Para isso, devem-se extrair os dados coletados no WebAPSEE e utilizá-los para a geração dos histogramas em outra ferramenta.

Tabela 13. Etapas da Ferramenta X Requisitos (seção 3.1)

Etapas	Requisitos								
	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9
Planejar Medição									
Definir OrgMIP	X	X							
Definir MIPModel	X								
Definir MIP	X	X							
Executar Medição									
Coletar Medidas			X						
Gera Indicadores				X					
Analisar os Dados da Medição									
Analisar Gráficos de Controle				X					
Analisar Pontos de Instabilidade e Contexto dos Dados						X			
Identificar Problemas e Causas Especiais						X			
Estabelecer Plano de Ação							X		
Salvar Dados na <i>Baseline</i> de Desempenho					X				

Tabela 14. Etapas da Ferramenta X Atividades do Processo

Etapas	Atividades do Processo																		
	AT1										AT2	AT3	AT4						
	SA1.1	SA1.2	SA1.3	SA1.4	SA1.5	SA1.6	SA1.7	SA1.8	SA1.9	SA1.10	SA2.1	SA3.1	SA4.1	SA4.2	SA4.3	SA4.4	SA4.5	SA4.6	SA4.7
Planejar Medição																			
Definir OrgMIP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
Definir MIPModel	X	X	X	X	X														
Definir MIP	X	X	X	X	X	X		X		X	X								
Executar Medição																			
Coletar Medidas												X							
Gera Indicadores													X						
Analisar os Dados da Medição																			
Analisar Gráficos de Controle													X						
Analisar Pontos de Instabilidade e Contexto dos Dados													X						
Identificar Problemas e Causas Especiais														X	X				
Estabelecer Plano de Ação															X	X			
Salvar Dados na <i>Baseline</i> de Desempenho																		X	

4.5. Visão Geral da Arquitetura de Ferramenta para Controle Estatístico de Processo de Software

A arquitetura da ferramenta é baseada na arquitetura do WebAPSEE, cliente-servidor, e cada conjunto de funcionalidades é implementado por um componente específico. A Figura 55 apresenta uma visão da arquitetura do WebAPSEE em camadas. A camada A ou camada servidora do ambiente corresponde ao Sistema Gerenciador de Banco de Dados (*DBMS*), o Repositório de Controle de Versão (*CVS Repository*), os componentes de persistência, as classes de negócio, e as fachadas de serviços disponibilizados para os clientes (*Facades*).

A camada B ou camada cliente oferece infraestrutura para acesso aos serviços da camada servidora, ou seja, é onde estão os componentes responsáveis pela comunicação entre ferramentas dos clientes e o servidor. Nela existem os seguintes componentes que realizam essa interface: o componente que realiza comunicação via Java RMI, outro e um

componente que realiza uma comunicação direta e local (também chamada de *offline*), ou seja, sem nenhum *middleware* de comunicação distribuída.

Por fim, a camada C ou camada de interface do usuário, onde o mesmo pode modelar os processos e visualizar as informações obtidas do servidor, ou seja, onde estão disponibilizados os Geradores de Relatórios, o *Manager Console* e *Task Agenda* (mencionados anteriormente).

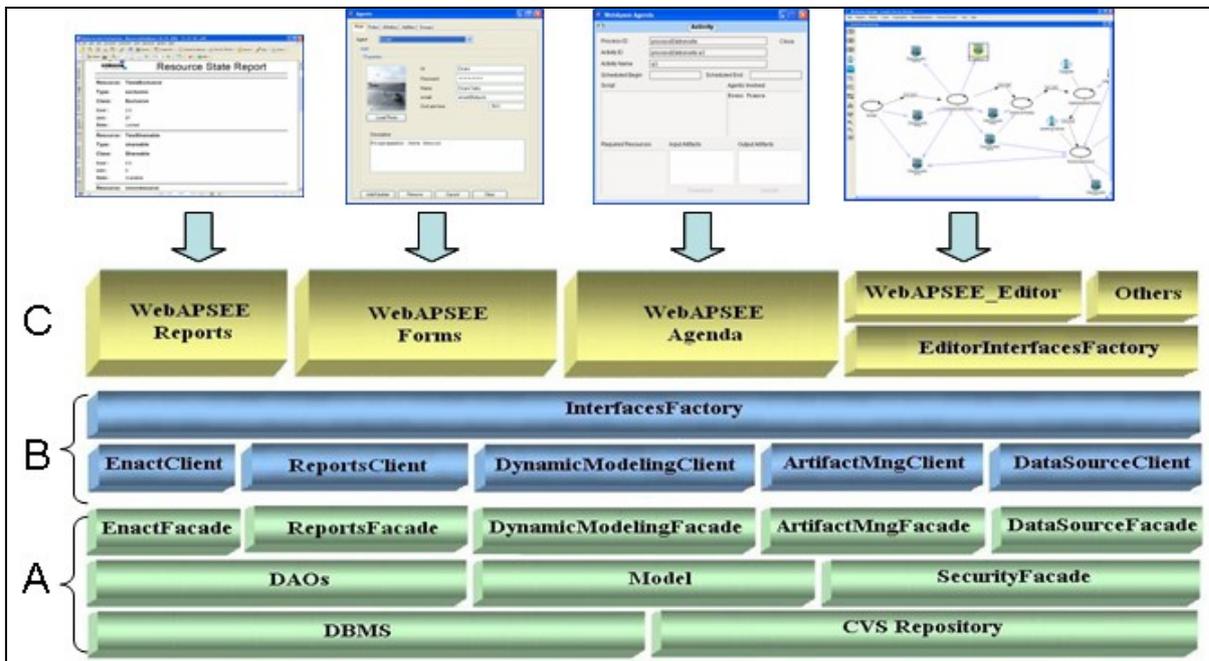


Figura 55. Visão Arquitetural em Camadas do Ambiente WebAPSEE [Lima *et al.*, 2006]

Para atender a proposta da ferramenta para controle estatístico de processo de software, foram alterados os seguintes componentes da arquitetura do ambiente WebAPSEE:

- Camada A: foram adicionadas ao componente *Model* classes de negócio necessárias pela ferramenta (Figura 56 e Figura 57);
- Camada B: na camada B foram adicionados novos métodos no *Reports Client* para realizar as chamadas aos novos de indicadores (indicadores estatísticos do tipo gráfico de controle) e relatórios da ferramenta (tais como, relatório da *baseline*, de análise, entre outros);
- Camada C: os novos formulários para a ferramenta e alterações dos formulários de definição dos indicadores e seleção alvos foram adicionados ao componente WebAPSEE *Forms*. No componente WebAPSEE *Reports* foram adicionados métodos para visualização dos indicadores e relatórios gerenciais da ferramenta.

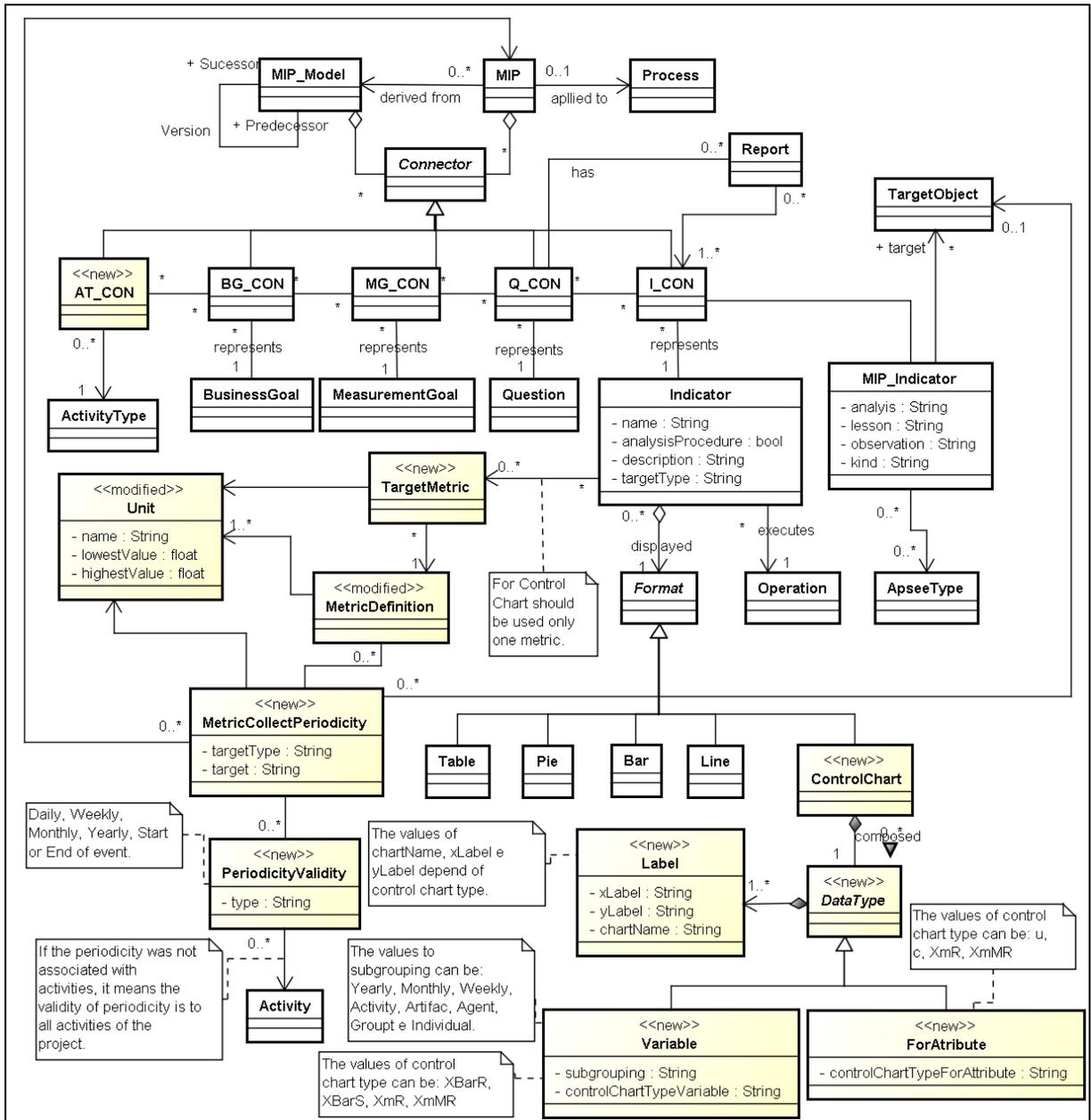


Figura 56. Diagrama de Classes para Implementação do CEP no Domínio de Projetos

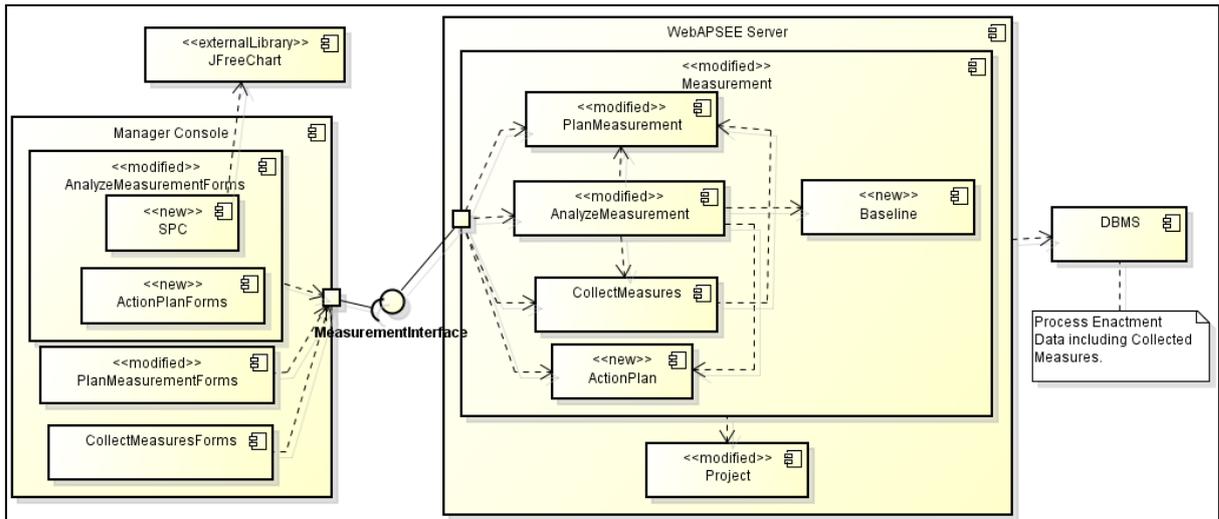


Figura 58. Visão Geral da Arquitetura Proposta

A Figura 56 apresenta o modelo de dados desenvolvido para permitir a implementação do CEP no Domínio de Projetos. Segundo Nascimento (2007), a solução foi definida através do uso de conectores para relacionar os elementos entre si e identificar se pertencem ao MIPModel ou ao MIP (modelo de dados detalhado no Anexo I).

As classes *BG_CON*, *MG_CON*, *Q_CON*, *I_CON* são especializações da classe *Connector*, que correspondem a conectores para objetivos de negócio, de medição, questão e indicador, respectivamente. Um objeto da classe *Connector* é relacionado exclusivamente com um MIPModel ou com um MIP, portanto, no contexto de um determinado MIPModel um elemento possui apenas um conector responsável por todos os seus relacionamentos. Em relação às métricas, não foi necessário o uso de conectores já que estas são selecionadas na definição dos indicadores, e estes não podem ser alterados ou removidos no MIP.

Para que seja possível realizar o planejamento do CEP através de gráficos de controle, foi adicionado o formato gráfico de controle (*ControlChart*), que é classificado segundo o tipo de dados: variável (*Variable*) ou por atributo (*ForAttribute*).

A classe *AT_CON* é um conector que representa os subprocessos críticos que devem ser analisados. Como apresentado no relacionamento dela com a classe *BG_CON*, um subprocesso crítico pode estar relacionado com um ou mais objetivos de negócio e, através desse relacionamento, é possível identificar com quais objetivos de medição está relacionado.

Na definição de indicadores de gráficos de controle com tipo de dados **variável**, pode-se definir como deve ser realizado o agrupamento (atributo *subgrouping*) dos dados coletados, que pode ser temporal, por atividade, por artefato, por agente, por grupo e individual. Os tipos de gráfico de controle (atributo *controlChartTypeVariable*) para agrupamento individual

podem ser: *Individual/MovingRange (XmR)* e *Individual/Median Moving Range (XMmR)*. Para os outros tipos de agrupamento, pode ser: *X-Bar/S* e *X-Bar/R*. Quando o tipo de dados é **por atributo**, os tipos de gráficos de controle (atributo *controlChartTypeForAttribute*) podem ser: *XmR*, *XMmR*, *u* e *c*.

Na definição dos indicadores estatísticos de gráficos de controle pode-se selecionar uma métrica (*MetricDefinition*) e a unidade da métrica que deve ser usada para geração do gráfico de controle. A periodicidade de medição das métricas relacionadas ao indicador é instanciada através da classe *MetricCollectPeriodicity*. A classe *PeriodicityValidity* é responsável pela indicação de qual o período de coleta e se ele é válido, dependendo do tipo do agrupamento dos indicadores relacionados aos alvos da periodicidade (Tabela 6). O relacionamento com a tabela *Activity* tem por objetivo permitir que sejam definidas as atividades do processo aos quais as métricas serão coletadas com a periodicidade determinada.

Na seleção das entidades-alvos (Figura 56) do indicador (*target-type*), foram reutilizados dois tipos de seleção de alvo do trabalho de Nascimento (2007): *by type* e *select*. Esse tipo de seleção é armazenado na classe *MIP_Indicator* através do atributo *kind*. No caso do tipo selecionado for *by type*, uma ou mais categorias podem ser selecionadas e armazenadas no atributo *apseeType*. Se o tipo escolhido for *Selected*, os elementos do processo que forem escolhidos serão relacionados ao indicador através da classe *TargetObject*, que armazena a identificação do objeto.

Na Figura 57 é apresentado o diagrama de classes desenvolvido para o CEP no Domínio Organizacional, com os conceitos relacionados aos gráficos de controle (modelo de dados detalhado no Anexo II).

O fluxo da geração de gráficos de controle é representado pelos diagramas de sequência da Figura 59 (camada cliente) e Figura 60 (camada servidor). O método *showIndicator()* é utilizado quando o usuário define qual indicador ele deseja que seja gerado, chamando assim o método *visualizeIndicator(iConOid)* da classe *VisualizationHandling*, o qual é responsável por realizar a chamada remota do método que irá retornar os dados que irão compor o indicador.

De posse dos dados a classe *VisualizationHandling* chama o método *generateVisualization(iCon, dataSeries)* que verifica qual tipo de indicador é requerido (*Pie*, *Bar*, *Table*, *Line* ou *Control Chart*) e então gera a tela que exibirá o indicador, no caso do gráfico de controle é a *ControlChartForm*.

A Tela *ControlChartForm* ao ser gerada, utiliza o método *calculateValues(dataSeries)* da classe *ControlChartFormula* para calcular os limites de controle e a linha central (dependendo do tipo de gráficos de controle) através dos dados recebidos. Com base nos limites de controle encontrados e nos dados (*dataSeries*), a tela *ControlChartForm* utiliza o método *stabilityTests(dataSeries,limits)* da classe *StabilityTest* para verificar a estabilidade do processo, retornando os pontos fora do controle, casos existam.

De posse dos dados dos pontos do gráfico, seus limites de controle e os pontos fora de controle, esses dados são repassados a classe *LineChart* responsável por gerar o *panel* com o gráfico de controle, utilizando o framework *JFreeChart* [Jfreechart, 2012].

Do lado do servidor, a interface *MeasurementInterface* é implementada pela classe *MeasurementImpl* (Figura 60). Essa classe tem por objetivo disponibilizar a implementação dos métodos requeridos pelo cliente (ManagerConsole) no que concerne as funcionalidades relacionadas à medição.

A classe *DataHandling* é responsável por realizar as chamadas relacionadas à extração das medidas da base de dados, bem como do tratamento desses dados com base no que foi definido no indicador. Primeiramente encontra o indicador através do método *findIndicatorByPK(iConOid)*, em seguida extrai os dados conforme o indicador encontrado, através do método *extractDataFromICon(indicator)* e, por fim, trata os dados obtidos através do método *makeOperation(dataObjs)*.

A classe *ExtractorInterface* é responsável por extrair as métricas de acordo com o definido nos indicadores. Por exemplo, se o indicador tem definido que os alvos de medição são determinadas atividades, então se devem obter as medidas relacionados a essas atividades.

A classe *OperateData* tem como objetivos manipular os dados para realizar operações (*Listing, Deviation ou Distribution*) de acordo com o tipo de indicador. No caso do gráfico de controle a operação aplicada é a *Listing*.

Do ponto de vista arquitetural, muitas funcionalidades relacionadas à geração dos gráficos de controle foram definidas para serem executadas do lado do cliente, pois poderiam demandar sobrecarga no servidor na geração dos gráficos. Por exemplo, quando um ponto no gráfico de controle é omitido, a interface é atualizada. Se a geração do gráfico de controle fosse executada no servidor, seria necessário enviar uma mensagem ao servidor cada vez que um ponto fosse omitido para obter os pontos nos gráficos novamente.

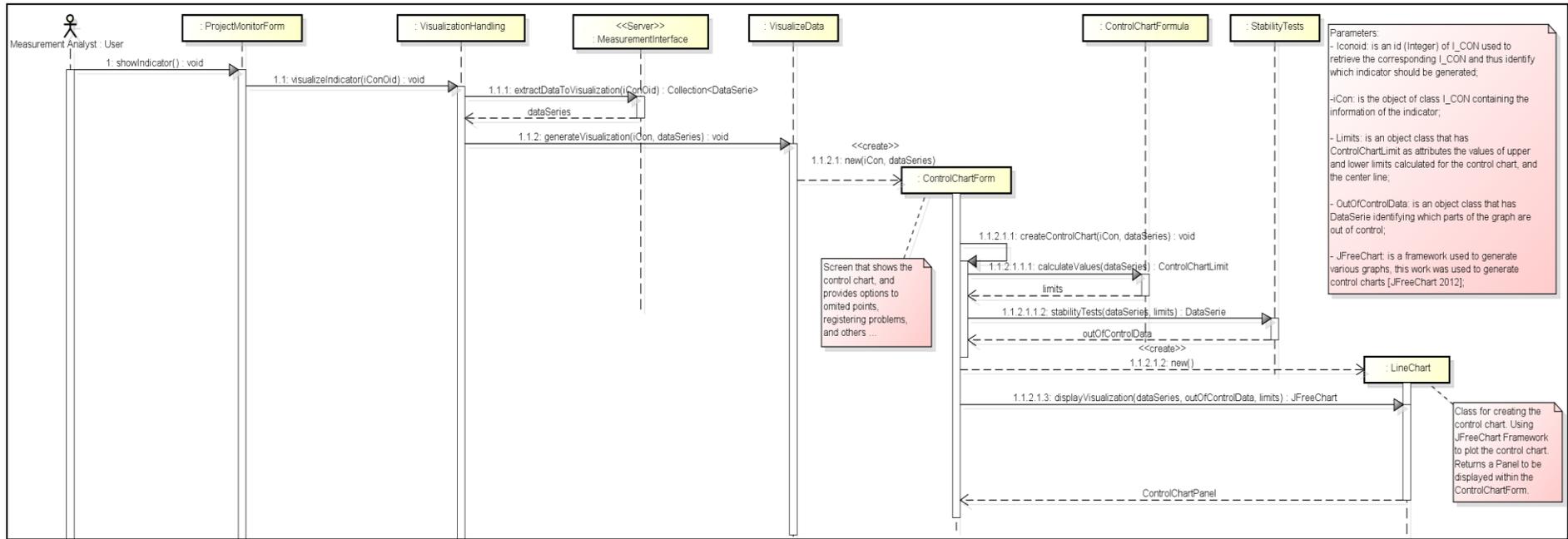


Figura 59. Diagrama de Sequência para Geração de Gráficos de Controle – Cliente

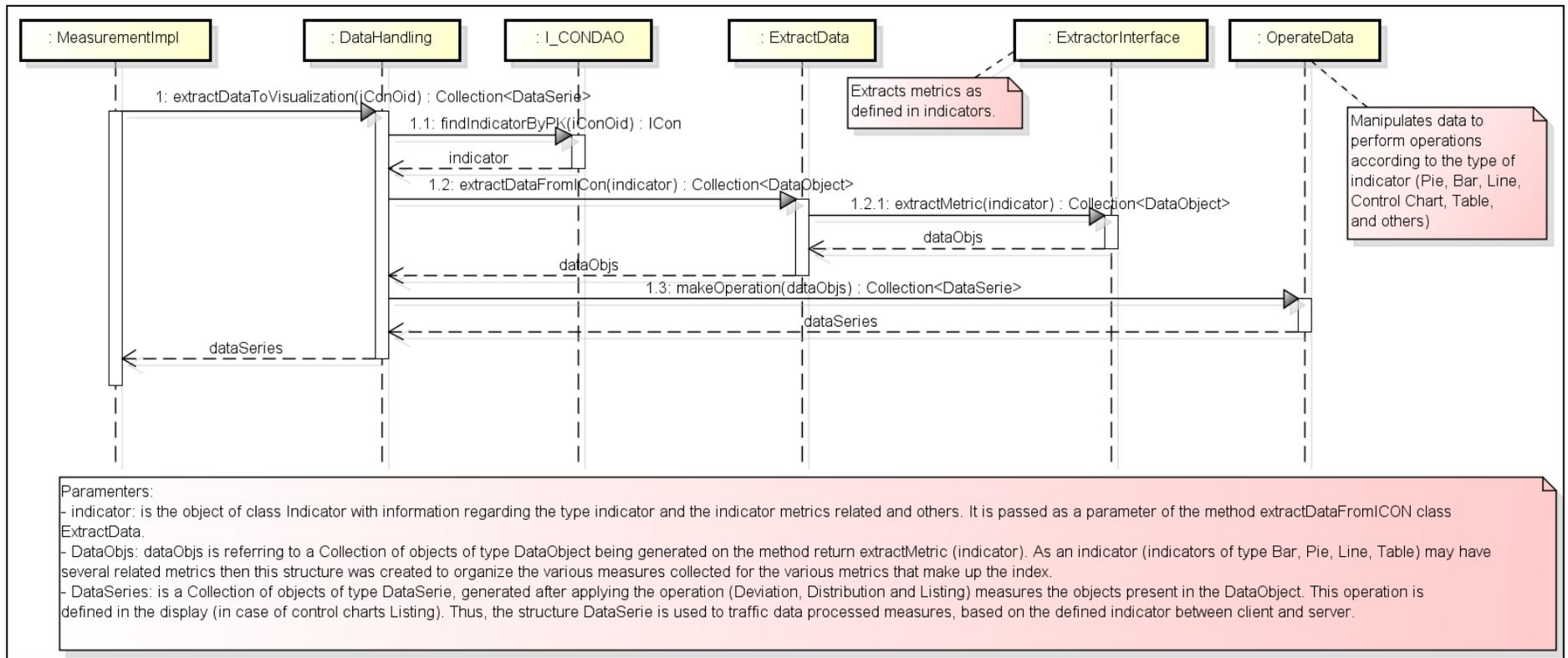


Figura 60. Diagrama de Sequência para Geração de Gráficos de Controle – Servidor

A Figura 61 apresenta o diagrama de classes desenvolvido para permitir a implementação da *baseline* de desempenho de processos, para indicadores organizacionais e de projetos, diferenciadas pelo atributo *type*. Uma *baseline* (classe *Baseline*) possui informações do período que se referem os dados (atributos *initialPeriod* e *endPeriod*), contexto (atributo *context*), responsável pelo seu registro (relacionamento com a classe *Agent*), data de registro (atributo *date*) pontos que foram omitidos e dados dos limites de controle (*upperControl* e *lowerControl*) e linha central (*centerline*) para cada tipo de gráfico a que se refere (*controlChartType*), que pode ser: *X-Bar*, *S*, *R*, *mR*, *MmR*, *u* e *c*. Além disso, uma *baseline* para um indicador pode ter uma nova versão (atributo *version*), que pode ser estabelecida mediante uma justificativa da alteração (atributo *reasonForChange*). A classe *OmittedMetric* é usada para salvar pontos omitidos durante a análise dos gráficos de controle, que foram possíveis ruídos (falsos problemas) no processo. Como um ponto no gráfico de controle pode ser um agrupamento de dados (de uma ou mais métricas) o relacionamento entre a classe *OmittedMetric* e *Metric* é de um para muitos.

Através do relacionamento entre a classe *Baseline* e a classe *Indicator* é possível obter de qual indicador está relacionada e, conseqüentemente, é possível obter as métricas que estão relacionadas à *baseline* e, através dos conectores (classe *I_CON*), é possível obter informações como o subprocesso crítico que a *baseline* está relacionada.

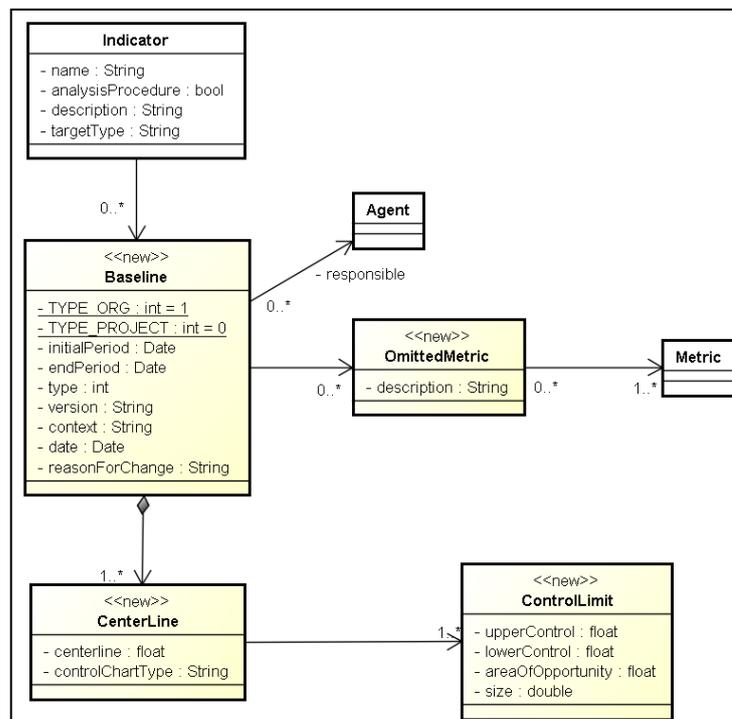


Figura 61. Diagrama de Classes para Implementação da *Baseline* de desempenho de Processo

A Figura 62 mostra o diagrama de classes para o apoio ao tratamento de problemas identificados durante os testes de estabilidade nos gráficos de controle, eliminação das causas desses problemas e planejamento de ações de melhoria.

A Figura 63 apresenta o diagrama de estados relacionado às ações de melhoria (Classe *Action*). As situações das ações são influenciadas pelas situações das atividades ligadas às ações. Quando essas atividades na máquina de execução do WebAPSEE são finalizadas, as ações alteram para o estado de *finished*. Quando a atividade é falhada, deve-se retirar o relacionamento dessa atividade com a ação.

A Figura 64 apresenta o diagrama de sequencia relacionado às causas dos problemas, em que suas situações são influenciadas pelos estados das ações de melhoria. Quando todas as ações relacionadas com a causa são finalizadas, a causa é eliminada (*solved by*).

A Figura 65 apresenta o diagrama de estados relacionado ao problema que causou a instabilidade no processo. Quando as causas dos problemas são eliminadas, a situação do problema vai para resolvido (*solved by*).

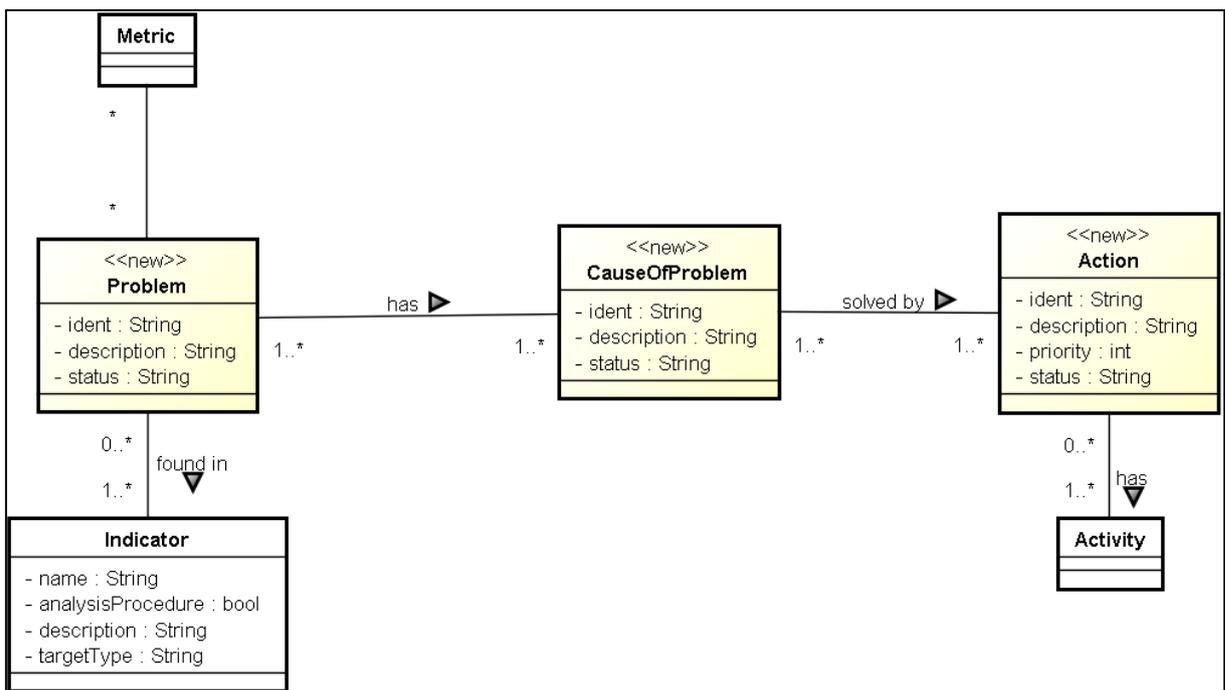


Figura 62. Diagrama de Classes para Problemas, Causas e Ações de Melhoria

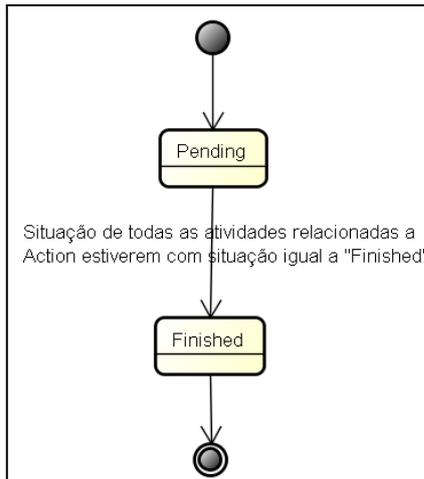


Figura 63. Diagrama de Estados da Classe *Action*

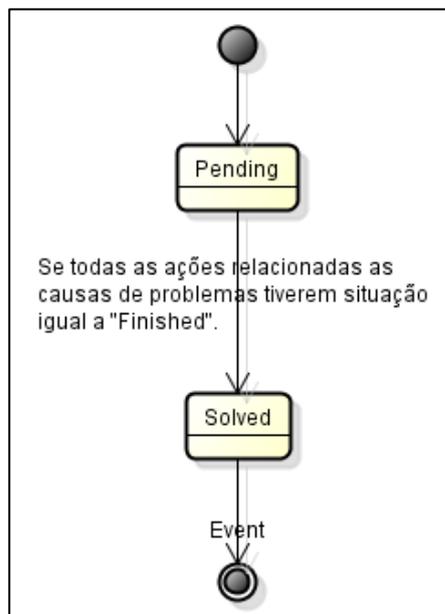


Figura 64. . Diagrama de Estados da Classe *CauseOfProblem*

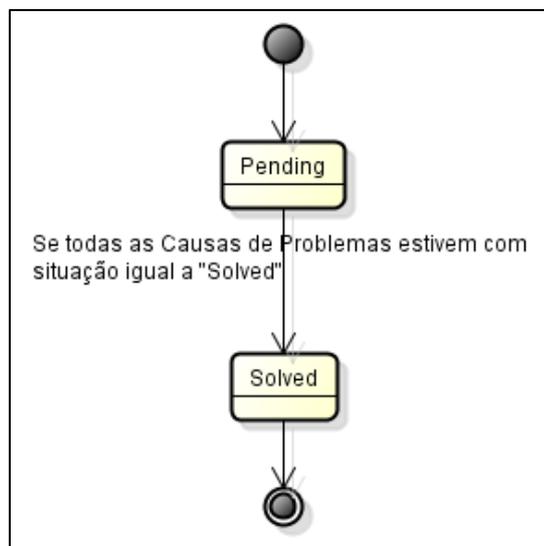


Figura 65. Diagrama de Estados da Classe *Problem*

4.6. Aderência da Arquitetura aos Requisitos

Cada um dos componentes apresentados no diagrama de componentes da Figura 58 implementa os requisitos do Quadro 2 conforme a matriz de rastreabilidade apresentada na Tabela 15. Isso permite que seja identificado o rastro dos componentes da ferramenta em relação aos requisitos da literatura. Dessa forma, pode-se verificar como a ferramenta contempla esses requisitos e a arquitetura proposta pode ser utilizada como subsídio para o desenvolvimento de outras ferramentas.

Tabela 15. Tabela de Componentes da Arquitetura X Requisitos

Componentes	Requisitos								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1. Manager Console	X	X	X	X	X	X	X		
<i>1.1 PlanMeasurementForms</i>	X	X							
<i>1.2 CollectMeasuresForms</i>			X						
<i>1.3 AnalyzeMeasurementForms</i>				X	X	X	X		
<i>1.3.1 SPC</i>				X	X				
<i>1.3.2 ActionPlanForms</i>						X	X		
2. WebAPSEE Server	X	X	X	X	X	X	X		
<i>2.1 Measurement</i>	X	X	X	X	X	X	X		
<i>2.1.1 PlanMeasurement</i>	X	X							
<i>2.1.2 CollectMeasures</i>			X						
<i>2.1.3 AnalyzeMeasurement</i>				X	X	X	X		
<i>2.1.4 Baseline</i>					X				
<i>2.1.5 ActionPlan</i>						X	X		
<i>2.1.6 Project</i>		X							

4.7. Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo apresentou a ferramenta para CEP para software desenvolvida neste trabalho. Além disso apresenta uma simulação de um processo real através desta ferramenta, que serve como um tipo de avaliação deste trabalho. No Capítulo 5 são apresentadas outras avaliações realizadas.

Capítulo 5 - Avaliação da Proposta

Este capítulo apresenta trabalhos que tratam de controle estatístico de processo de software. Além disso, discute algumas ferramentas de apoio ao controle estatístico, relacionadas a esse trabalho.

5.1. Metodologia de Avaliação da Proposta

A avaliação do processo e da abordagem da ferramenta proposta nesse trabalho segue as etapas apresentada na Figura 66.

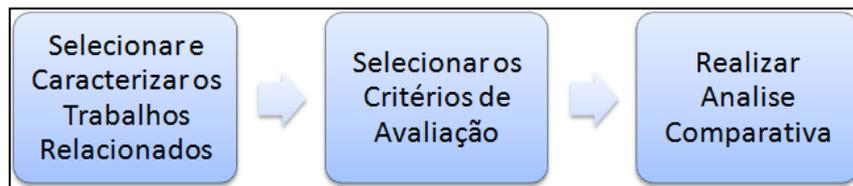


Figura 66. Etapas da Avaliação da Proposta

Na etapa de “selecionar os trabalhos relacionados” foi realizada uma revisão da literatura para escolha dos trabalhos relacionados ao processo proposto e a ferramenta desenvolvida para controle estatístico de processo de software. Depois de eleitos os trabalhos relacionados, foi realizado um estudo de cada trabalho com o objetivo de caracterizar e entender cada um deles e os pontos de relacionamento.

Em seguida foram definidos os critérios que seriam utilizados para realizar a análise comparativa. Esses critérios foram estipulados levando em consideração alguns problemas encontrados na literatura e citados no capítulo 1, com o objetivo de avaliar se o processo e a ferramenta proposta nesse trabalho alcançaram seus objetivos e o que apresentam de contribuição em relação aos trabalhos relacionados.

Por último, foi realizada uma análise comparativa entre os trabalhos relacionados e a proposta do presente trabalho.

A seção 5.2 apresenta os trabalhos relacionados ao processo proposto, a seleção dos critérios utilizados para análise comparativa, a análise comparativa e apresentação de algumas limitações encontradas. Na seção 5.3 são mostrados os trabalhos relacionados à ferramenta, a seleção dos critérios para a análise comparativa e a análise comparativa dos trabalhos relacionados e da ferramenta e a apresentação de algumas limitações da ferramenta.

5.2. Trabalhos Relacionados ao Processo-Padrão de Controle Estatístico de Processo de Software

As subseções a seguir apresentam alguns trabalhos relacionados ao processo proposto no trabalho presente. A seleção desses trabalhos levou em consideração a procura de trabalhos que definissem procedimentos e processos relacionados a controle estatístico de processo de software.

5.2.1. Seleção e Caracterização dos Trabalhos Relacionados

5.2.1.1. Campos et al., 2007

Este trabalho apresenta um processo para gerência quantitativa dividido em 3 fases: Conhecer, Estabilizar e Controlar. Sendo que, a fase Conhecer tem como objetivo identificar os objetivos de medição e estabelecer quais as medidas que serão utilizadas na gerência quantitativa. Além disso, visa coletar as medidas selecionadas e gerar os indicadores estatísticos.

A fase de Estabilizar é composta de atividades relacionadas à identificação de causas especiais de variabilidade (caso haja instabilidade no processo), estabelecimento de *baselines* de desempenho e elaboração de modelos de desempenho.

A fase de Controlar tem como objetivo estabelecer atividades de monitoramento de processos estáveis. Dessa forma apresenta atividades relacionadas à definição dos objetivos quantitativos de desempenho, monitoramento da estabilidade do processo e análise da capacidade do processo.

A Tabela 16 apresenta uma comparação entre as fases do processo proposto por Campos *et al.* (2007) e o processo-padrão proposto no trabalho presente. Pode-se perceber que Campos *et al.* (2007) não menciona como a organização deve selecionar os projetos e entidades (similares) que devem participar do controle estatístico de processo de software. Além disso, não descreve de forma detalhada cada uma das atividades relacionadas ao planejamento da medição para o controle estatístico.

Além disso, pode-se perceber que o processo de Campos *et al.* (2007) descreve melhor algumas atividades relacionadas à estabilização e controle, tais como: analisar a estabilidade, definir objetivos quantitativos de desempenho para o projeto, estimar desempenho usando os modelos, monitorar a estabilidade e desempenho, Incorporar resultados do processo no projeto ao repositório. Essas atividades são muitas vezes apresentadas como recomendações e procedimentos no processo-padrão proposto e não destacadas como atividades.

No entanto, na fase de controle o processo de Campos et al. (2007) não descreve as atividades de: identificação de problemas, planejamento de ações de melhoria e monitoramento dessas ações.

Por fim, pode-se destacar que o processo de Campos et al. (2007) não é descrito seguindo um padrão ou metamodelo, como foi feita a descrição do processo padrão proposto. Isso pode dificultar a sua utilização por algumas organizações.

Tabela 16. Tabela Comparativa entre as Fases do Processo de Campos e as Atividades do Processo Proposto

Fases do Processo de Campos et.al 2007	Atividades do Processo Proposto																				
	AT1										AT2	AT3	AT4								
	SA1.1	SA1.2	SA1.3	SA1.4	SA1.5	SA1.6	SA1.7	SA1.6	SA1.7	SA1.8	SA1.9	SA1.10	SA2.1	SA3.1	SA4.1	SA4.2	SA4.3	SA4.4	SA4.5	SA4.6	SA4.7
Conhecer																					
Definir objetivos e medidas preparatórias para a gerência quantitativa	x	x	x	x	x																
Coletar medidas da execução do processo													x								
Gerar indicadores estatísticos do desempenho.														x							
Estabilizar																					
Identificar causas especiais de variabilidade																x					
Analisar a estabilidade																					
Estabelecer a <i>baseline</i> de desempenho do processo																				x	
Elaborar modelos do desempenho do processo.																					x
Controlar																					
Definir objetivos quantitativos de desempenho para o projeto																					
Estimar desempenho usando os modelos																					
Monitorar a estabilidade e desempenho																					
Analisar a capacidade do processo no projeto																					x
Incorporar resultados do processo no projeto ao repositório																					

5.2.1.2.Cerdeiral et al., 2007

Este trabalho apresenta uma abordagem para controle estatístico do processo e para gerência quantitativa aplicada em uma organização. Esta abordagem é dividida em quatro etapas:

- Definição do plano de medição, onde são identificados os objetivos organizacionais e de medição, os indicadores, medidas e gráficos de controle a serem utilizados;
- Coleta dos dados que devem ser utilizados nos gráficos de controle e para os cálculos dos limites de controle e linha central;
- Análise dos gráficos de controle, em que caso os gráficos de controle mostrem estabilidade do processo, os dados de limite e linha central podem ser utilizados na estimativa de projetos. No entanto, se os gráficos indiquem instabilidade do processo, as causas especiais devem ser investigadas.

A Tabela 17 apresenta uma comparação entre as fases da abordagem de Cerdeiral (2007) e o processo-padrão proposto. O trabalho de Cerdeiral (2007) apresenta com detalhes alguns exemplos de objetivos de medição, questões e indicadores. No entanto, não mostra como as organizações devem selecionar os projetos e entidades similares para o controle estatístico de processo de software. Além disso, não apresenta algumas atividades de controle e estabilização do processo, tais como; estabelecimento da *baseline*, a identificação de problemas, definir o modelo de desempenho do processo e análise da capacidade do processo, identificação de oportunidades de melhoria e planos de ação.

Tabela 17. Tabela Comparativa entre as Fases da Abordagem de Cerdeira (2007) e o Processo Proposto

Fases da Abordagem de o Processo de Cerdeiral et al., 2007	Atividades do Processo Proposto																					
	AT1										AT2	AT3	AT4									
	SA1.1	SA1.2	SA1.3	SA1.4	SA1.5	SA1.6	SA1.7	SA1.6	SA1.7	SA1.8	SA1.9	SA1.10	SA2.1	SA3.1	SA4.1	SA4.2	SA4.3	SA4.4	SA4.5	SA4.6	SA4.7	
Definir Plano de Medição	X	X	X	X	X																	
Coletar medidas da execução do processo													X									
Analisar os Gráficos de Controle														X	X			X				

5.2.1.3. Florac e Carleton, 1999

Florac e Carleton (1999) apresentam um *framework* para medição de processos de software baseado em conceitos de controle estatístico, mostrado na Figura 67 e descrito a seguir:

- **Esclarecer os objetivos de negócio:** identificar os objetivos organizacionais, estratégias e planos relacionados ao processo de software.
- **Identificar e Priorizar Questões:** De acordo com os objetivos organizacionais, identificar as questões críticas relacionadas a esses objetivos e que precisam ser investigadas para identificar problemas no processo.
- **Selecionar e Definir Medidas:** Selecionar medidas que devem ajudar na caracterização do processo ou produto.
- **Coletar, Verificar e Manter os Dados:** Coletar dados com o objetivo de visualizar o desempenho dos processos e investigar possíveis causas especiais e potenciais melhorias.
- **Analisar o Comportamento do Processo:** Com base nos dados coletados, utilizar os cálculos necessários, traçar os dados medidos em gráficos de controle. Em seguida verificar a estabilidade do processo. Se o processo estiver estável, é possível avaliar a sua capacidade. Se não estiver estável, as causas especiais devem ser identificadas e removidas.

A Tabela 18 apresenta uma comparação entre as atividades do framework de Florac e Carleton (1999) e o processo-padrão proposto para controle estatístico de processo de software. Florac e Carleton (1999) não mencionam também como as entidades e projetos devem ser selecionados para o controle estatístico e nem que informações devem ser registradas na coleta dos dados. Além disso, o framework não apresenta atividades relacionadas à: identificação de problemas, estabelecimento de *baselines* de desempenho do processo e estabelecimento de modelos de desempenho.

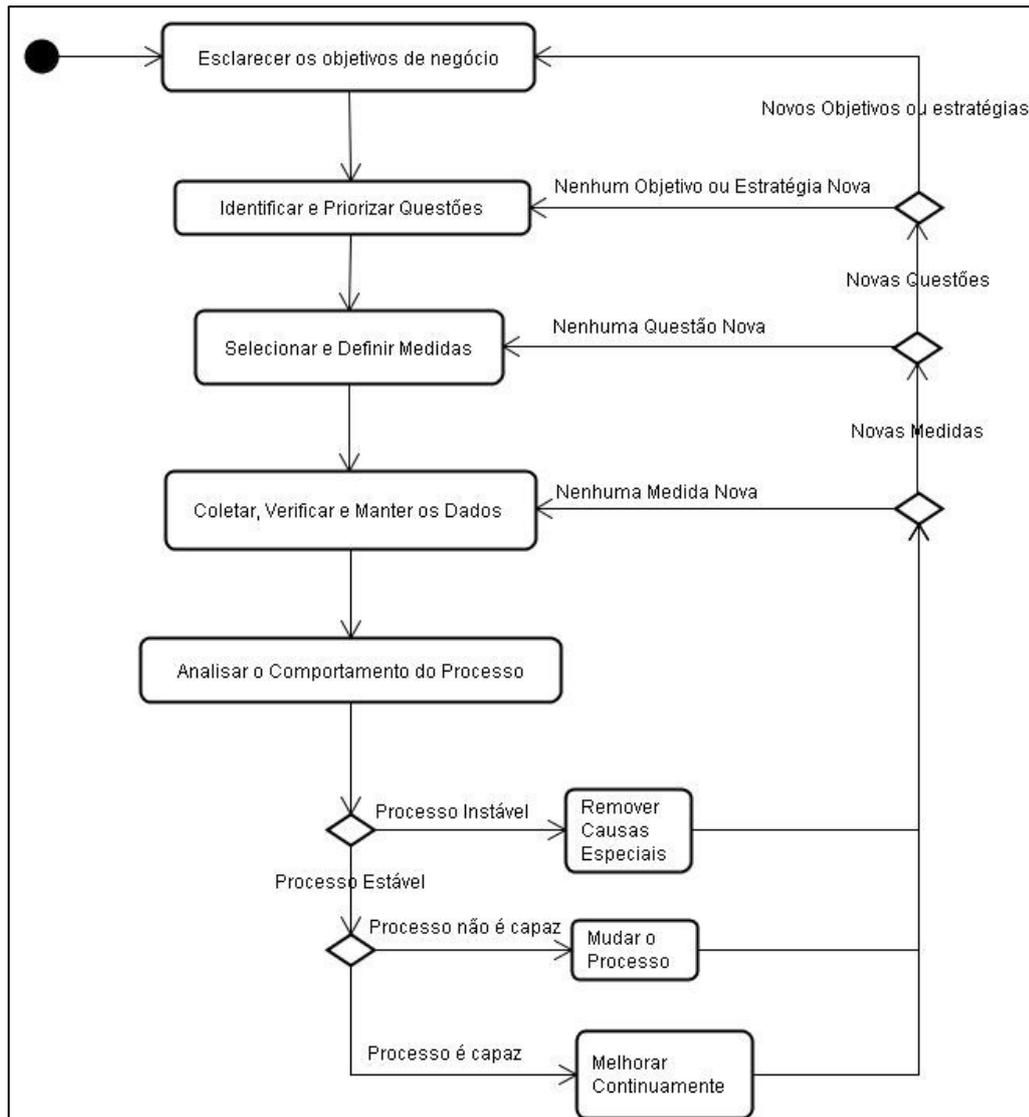


Figura 67. Framework Para Medição de Ambientes de Processo - adaptado de [Florac e Carleton, 1999]

Tabela 18. Tabela Comparativa entre Atividades do Framework de Florac e Carleton (1999) e o Processo Proposto

Atividades do Framework de Florac e Carleton, 1999	Atividades do Processo Proposto																		
	AT1										AT2	AT3	AT4						
	SA1.1	SA1.2	SA1.3	SA1.4	SA1.5	SA1.6	SA1.7	SA1.8	SA1.9	SA1.10	SA2.1	SA3.1	SA4.1	SA4.2	SA4.3	SA4.4	SA4.5	SA4.6	SA4.7
Esclarecer os objetivos de negócio	X																		
Identificar e Priorizar Questões				X															
Selecionar e Definir Medidas						X													
Coletar, Verificar e Manter os Dados											X								
Analisar o Comportamento do Processo												X		X	X	X			X

5.2.1.4.Barcellos, 2009

Barcellos (2009) possui como objetivo geral definir uma estratégia que auxilie as organizações que buscam a alta maturidade em seus processos de software na obtenção e manutenção de bases de métricas aplicáveis ao CEP, bem como na realização de medição adequada a esse contexto. Para isso, apresenta uma ontologia para medição de software para CEP e um instrumento para avaliação de base de medidas, considerando a adequação ao CEP.

Esse instrumento de avaliação é composto de quatro itens: o plano de medição, a estrutura da base de medidas, as medidas propriamente ditas e os dados coletados para essas medidas. Sendo que, somente os subprocessos considerados críticos para a organização devem ser submetidos ao CEP, a fim de evitar a avaliação desnecessária de medidas não relacionadas a esses processos ou a tendência a escolha de subprocessos que tenham medidas aplicáveis, mas não sejam críticos. A Figura 68 apresenta uma visão geral do instrumento de avaliação. Além disso, Barcellos (2009) apresenta um conjunto de recomendações para o estabelecimento e preparação de bases de medidas para o CEP.

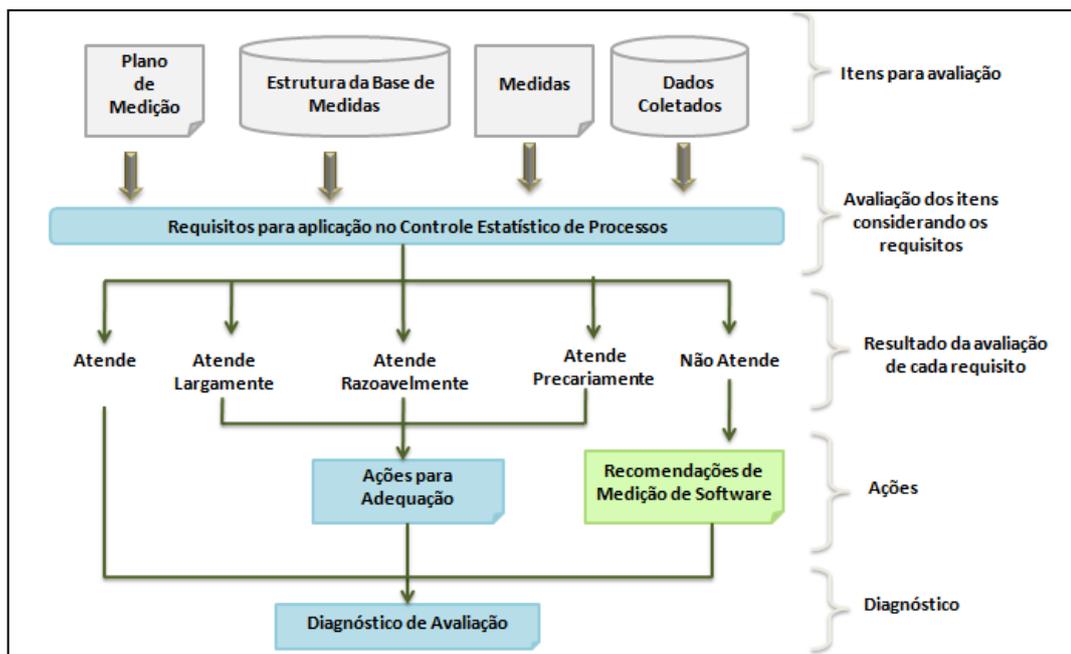


Figura 68. Visão Geral do Instrumento de Avaliação de Base de Medidas [Barcellos, 2009]

O trabalho de Barcellos (2009) apesar de apresentar através do instrumento de avaliação, da ontologia e recomendações, todos os assuntos abordados nas atividades do processo proposto, não tem como foco fornecer um processo em si, mas um arcabouço geral acerca do assunto.

5.2.1.5. Schots e Rocha, 2012

Schots e Rocha (2012) apresentam um *workflow* de atividades para implementar o Controle Estatístico de Processos em software (Figura 69).

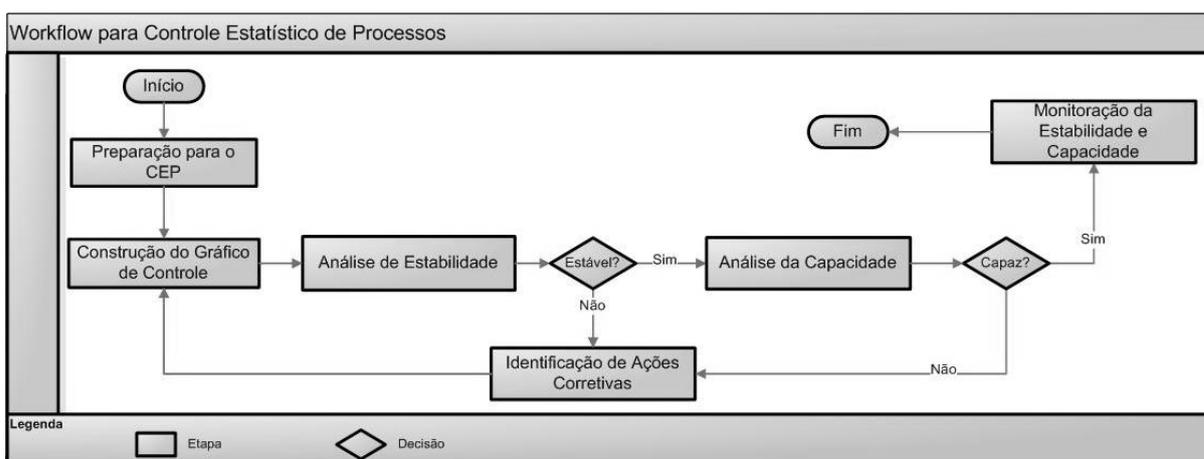


Figura 69. Visão de Geral do *Workflow* para Controle Estatístico de Processo de Software [Schots e Rocha, 2012]

O *workflow* inicia-se com a seleção de um subprocesso crítico para a organização, que será analisado e controlado estatisticamente. Após esta seleção, é realizada a construção dos gráficos de controle apropriado e da análise de sua estabilidade. Caso o subprocesso esteja

estável, é realizada a análise de sua capacidade. Caso o subprocesso não esteja estável, é necessário analisar o que está causando esta instabilidade. Após esta análise, é possível que o subprocesso tenha sido alterado; desta forma, o novo subprocesso é executado, novas medidas são coletadas e retorna-se à construção do gráfico de controle, analisando novamente a estabilidade do subprocesso. Este ciclo se repete até que o subprocesso esteja livre das ações de causas especiais.

Quando o subprocesso está estável, é realizada uma análise da capacidade. Se o subprocesso for considerado capaz, a execução deste subprocesso é monitorada constantemente para verificar se continua estável e capaz com o passar do tempo. Se o subprocesso não for capaz, é necessário identificar a ação apropriada para torná-lo capaz. Se a ação escolhida envolver a melhoria do subprocesso, não é possível garantir a sua estabilidade; portanto, é necessário analisar sua estabilidade novamente, construindo o gráfico de controle com os novos dados deste subprocesso.

Após a estabilização e a análise de capacidade, inicia-se uma etapa de monitoração, na qual se verifica constantemente se o subprocesso permanece estável e capaz de atender seus objetivos. Neste caso, é necessário analisar as tendências dos dados para verificar possíveis instabilidades ou o não alcance dos objetivos.

A Tabela 19 apresenta uma tabela comparativa entre as atividades do *workflow* de Schots e Rocha (2012) e as atividades do processo padrão-proposto. Pode-se observar que algumas atividades de planejamento da medição para o CEP não foram descritas em atividades, tais como: identificação dos objetivos de negócio e de medição, questões de medição, definição de indicadores. Também não foi possível observar que atividades relacionadas a mecanismos de seleção de projetos ou entidades similares para coleta de métricas. Além disso, não apresenta atividades relacionadas ao estabelecimento de modelos de desempenho do processo.

No entanto, o trabalho de Schots e Rocha (2012) destaca em atividades a construção dos gráficos de controle, diferente do processo padrão proposto aqui, que as atividades relacionadas à geração dos gráficos de controle estão em procedimentos. Ainda, descreve em atividades o acompanhamento da estabilidade do processo.

Além disso, há uma diferença relacionada ao momento de se decidir qual o tipo de gráfico de controle usar e como as métricas devem ser agrupadas. No processo-padrão aqui proposto, essas decisões são realizadas no planejamento do indicador estatístico e verificadas

na geração dos gráficos de controle. No *workflow* de Schots e Rocha (2012) essas decisões são realizadas na construção dos gráficos de controle, com as medidas já coletadas.

Tabela 19. Tabela Comparativa entre as Atividades do *Workflow* de Schots e Rocha (2012) e o Processo Proposto

Atividades do <i>Workflow</i> de Schots e Rocha, 2012	Atividades do Processo Proposto																					
	AT1										AT2	AT3	AT4									
	SA1.1	SA1.2	SA1.3	SA1.4	SA1.5	SA1.6	SA1.7	SA1.6	SA1.7	SA1.8	SA1.9	SA1.10	SA2.1	SA3.1	SA4.1	SA4.2	SA4.3	SA4.4	SA4.5	SA4.6	SA4.7	
Preparar para o CEP		X																				
Construção do Gráfico de Controle														X								
Análise da Estabilidade															X				X			
Identificação de Ações Corretivas																X						
Análise da Capacidade																						X
Monitoração da Estabilidade e Capacidade																						

5.2.2. Seleção dos Critérios para Avaliação

A seleção dos critérios que devem ser utilizados para a avaliação, através da análise comparativa dos trabalhos relacionados e do processo-padrão proposto, foi realizada com base em objetivos e questões estabelecidos (Quadro 17). Os objetivos foram identificados segundo os seguintes problemas encontrados na literatura (citados no Capítulo 1): falta de orientação de como deve ser realizado o controle estatístico de processo de software e entendimento de quais atividades devem ser realizadas para a realização do controle estatístico.

Dessa forma, foram identificados dois critérios:

- Abrangência do processo-padrão: o processo atende todos os requisitos identificados na revisão da literatura (seção 3.2);
- Padrão de descrição do processo: a descrição do processo segue um padrão que possa facilitar a difusão dos mesmos em uma organização.

Para cada um dos critérios identificados foram estipuladas formas de como esses critérios devem ser verificados. No caso do critério de abrangência, a avaliação é realizada através da verificação do atendimento ou não de determinado requisito pelo processo analisado. Já o critério de padrão de descrição é verificado pela análise de como o processo é descrito.

Quadro 17. Seleção de Critérios para Avaliação dos Processos

Objetivo	Questão	Critério	Como Verificar?
O processo deve abranger os requisitos de controle estatístico	Quais os requisitos são atendidos pelo processo proposto?	Abrangência do processo-padrão	Verificar nos trabalhos relacionados ao processo, o que é abrangido em relação a requisitos da literatura.
O processo deve ser descrito seguindo um padrão ou descrito através de um metamodelo	O processo é descrito através de um padrão estabelecido?	Padrão de descrição do processo	Verificar como os trabalhos relacionados descrevem os processos.

5.2.3. Análise Comparativa entre os Critérios Estabelecidos, os Trabalhos Relacionados e o Processo-padrão Proposto

Para verificar o critério de abrangência do processo, foi realizada uma comparação entre os requisitos da literatura, os trabalhos relacionados e o processo-padrão proposto. A Tabela 20 apresenta essa comparação. Nessa tabela, quando o requisito é atendido totalmente é utilizada a marcação “T”, quando é atendido parcialmente “P” e “N”, quando não é atendido. Dessa forma, pode-se observar através da tabela que:

- O trabalho de [Campos et al., 2007] não menciona como as organizações devem selecionar os projetos e entidades (similares) que devem participar do CEP. Assim como não apresenta atividades relacionadas com a identificação de problemas, planejamento de ações de melhoria e monitoramento dessas ações;
- No trabalho de [Cerdeiral, *et al.* 2007] não são detalhadas: seleção de entidades e projetos para o controle estatístico, o estabelecimento da *baseline*, a identificação das causas especiais, a definição do modelo de desempenho do processo e a análise da capacidade do processo;
- O trabalho de [Florac e Carleton 1999] não menciona quais informações a organização deve registrar no planejamento da medição, na coleta de métricas. Além disso, não mostra como as organizações devem selecionar as entidades e projetos para o controle estatístico;
- O trabalho de [Barcellos 2009] apesar de atender a todos os requisitos da literatura, não fornece um processo em si, mas um arcabouço geral acerca de controle estatístico de processo de software, através de recomendações, uma ontologia definida e um conjunto de critérios para avaliação de bases de medidas;

- O trabalho de [Schots e Rocha, 2012] não apresenta algumas atividades relacionadas ao planejamento da medição para o controle estatístico, tais como: identificar objetivos de negócio e de medição, estabelecer questões de medição, e definir indicadores estatísticos. Além disso, não apresenta mecanismos para seleção de entidades e projetos similares para medição, identificação de problemas que causaram instabilidade no processo e definição de modelos de desempenho.

Tabela 20. Tabela de Trabalhos Relacionados e Processo Proposto X Requisitos

Trabalhos	Requisitos								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
[Campos <i>et al.</i> 2007]	P	N	T	T	T	P	N	T	T
[Cerdeiral, <i>et al.</i> 2007]	T	N	T	T	N	N	N	N	N
[Florac e Carleton 1999]	P	N	T	T	N	P	T	T	T
[Barcellos 2009]	T	T	T	T	T	T	T	T	T
[Schots e Rocha 2012]	P	N	N	P	T	P	T	N	T
Processo Proposto	T AT1	T AT1	T AT2	T AT3	T AT4	T AT4	T AT4	T AT4	T AT4

Com relação ao critério de descrição do processo, dentre os trabalhos relacionados analisados não foi encontrado um padrão para a descrição do processo de forma textual ou o estabelecimento de uma descrição visual dos mesmos, que facilitasse a reutilização do mesmo dentro de uma organização. Com exceção do trabalho de [Schots e Rocha, 2012], que apresenta o processo visual através da linguagem de processo BPMN e de forma textual. No entanto, a apresentação textual não é organizada em tópicos, tais como: procedimentos, recomendações, dependências e exemplos.

Já o processo-padrão aqui proposto é descrito textualmente (através de um padrão estabelecido) e visualmente (através da linguagem WebAPSEE-PML), como o objetivo de facilitar o entendimento das atividades envolvidas no controle estatístico de processo de software.

5.3. Trabalhos Relacionados à Ferramenta Proposta de Controle Estatístico de Processo de Software

A seguir são apresentadas algumas ferramentas que estão relacionadas à ferramenta proposta. A seleção dessas ferramentas levou em consideração a identificação de funcionalidades relacionadas ao processo de controle estatístico de processo.

5.3.1. Seleção e Caracterização dos Trabalhos Relacionados

5.3.1.1. Action

Action (Estatcamp, 2010) é uma ferramenta de estatística integrada ao Microsoft Excel, que fornece funcionalidades para a geração de gráficos, tais como: histograma, *Box-Plot*, *Pareto*, *Dot Plot* e gráficos 3D. Além disso, possui um módulo para controle estatístico de processo, que possui as seguintes funcionalidades: geração de gráficos de controle, análise da estabilidade do processo e análise da capacidade do processo. A seguir são apresentados os tipos de gráficos de controle que podem ser gerados através desta ferramenta:

- **Para dados variáveis:** X-Bar e R, X-Bar e S, valores individuais e amplitude móvel, entre outros.
- **Para dados por atributo:** p, np, c, u.

A ferramenta Action é relacionada à ferramenta apresentada nesse trabalho com relação: a geração dos gráficos, análise da estabilidade do processo e análise da capacidade do processo. A ferramenta Action permite a geração de mais tipos de gráficos de controle que a ferramenta proposta. No entanto, não permite a organização dos dados em grupos com mais de um elemento de forma automática, somente de forma “manual” pelo usuário. Além disso, a ferramenta Action não fornece rastreabilidade dentre as atividades de controle estatístico que possui e nem com o processo que está sendo analisado.

5.3.1.2. CHARTrunner

CHARTrunner [PQSystems, 2008] é uma ferramenta utilizada para controle estatístico tanto para processo de software, quanto para processos da manufatura. Esta ferramenta pode se integrar a banco de dados como Access, *dBASE*, *Excel*, *FoxPro*, *Paradox*, e arquivos de texto ou links ODBC ou de bases de dados ADO;OLE DB. Além disso, o *CHARTrunner* gera os gráficos de controle estatísticos, verificação da estabilidade do processo, geração diagramas de *Pareto*, índices de capacidade, diagramas de *Scatter*, histogramas e outros.

Essa ferramenta permite que sejam traçados os seguintes gráficos de controle:

- **Para Dados Mensuráveis** (variáveis e discretos): (X-Bar e R, X-Bar e S, Mediana, Individual e Média Móvel, Individual e Amplitude Móvel, Média Móvel e Amplitude Móvel, *Cusum*, *Tree Way Chart*).
- **Para Dados Contáveis ou por atributo**: p, np, c, u.

A ferramenta *CHARRunner* é relacionada à ferramenta apresentada nesse trabalho com relação a geração dos gráficos e análise da estabilidade do processo e geração de índices de capacidade do processo. Sendo que a ferramenta *CHARRunner* também permite a geração de mais tipos de gráficos de controle que a ferramenta proposta. Entretanto, não permite a organização dos dados em grupos com mais de um elemento de forma automática, somente de forma “manual” pelo usuário. Além disso, a ferramenta *CHARRunner* não fornece rastreabilidade dentre as atividades de controle estatístico que possui e nem com o processo que está sendo analisado, mas permite que os dados da coleta sejam acessados de repositórios de medidas.

5.3.1.3.Minitab

Minitab [Minitab, 2006] é uma ferramenta utilizada para analisar estatisticamente os dados de processo de software e da manufatura. Para isso ela permite que sejam gerados gráficos estatísticos, como: de controle, de regressão e outros. Além disso, a ferramenta Minitab possui os seguintes recursos: o tipo de gráfico de controle pode ser escolhido e os dados podem ser organizados em subgrupos. Dentre os tipos de gráfico de controle são gerados os seguintes:

- **Para dados variáveis para subgrupo**: X-Bar, X-Bar e R, X-Bar e S, R, S, Zone.
- **Para dados variáveis sem agrupamento**: Individual e Amplitude Móvel, Zone e Amplitude Móvel, Individual, Amplitude Móvel.
- **Para dados por atributo**: p, np, c, u.
- **Time-Weighted**: *T-Squared-Generalized* Variável, *TSquared*, Variância Generalizada.

Além disso, a Minitab pode importar dados armazenados em uma planilha Excel ou colocar os dados em uma janela chamada Data. Além da análise estatística, essa ferramenta permite que sejam avaliados os relacionamentos entre as variáveis e os dados que estão sendo explorados, através dos seguintes gráficos: histogramas, Scatter e outros. Para verificara os

pontos de instabilidade, a ferramenta utiliza o teste AIAG (*Automotive Industry Action Group*) que pode ser alterado.

A ferramenta Minitab, também, permite a geração de mais tipos de gráficos de controle que a ferramenta proposta. No entanto, não permite o agrupamento dos dados de forma automática, apesar de permitir que sejam importados de repositórios e planilhas Excel. Além disso, a ferramenta Minitab não fornece rastreabilidade dentre as atividades de controle estatístico que possui e nem com o processo que está sendo analisado.

5.3.1.4.DataDrill

A ferramenta DataDrill (2012) apoia o controle estatístico no domínio do processo de software. Possui funcionalidades de planejamento da medição, geração de gráficos de controle e verificação de estabilidade do processo. Sendo que não possui o conceito de seleção de subprocessos críticos e nem de um mecanismo para seleção de projetos similares segundo características da organização e nem a seleção de entidades similares. Além disso, não permite o subagrupamento de dados coletados de forma automática e nem a rastreabilidade entre atividade de controle estatístico de processo de software e com o processo analisado.

5.3.1.5.TychoMetrics

A ferramenta TychoMetrics (2012) também é uma ferramenta utilizada no domínio do processo de software. Além disso, possui funcionalidades de planejamento da medição, de geração de gráficos de controle e verificação de estabilidade. No entanto, não possui o conceito de seleção de subprocessos críticos e nem de um mecanismo para seleção de projetos similares segundo características da organização e nem a seleção de entidades similares. E nem agrupamento dos dados coletados para geração de gráficos de controle e a rastreabilidade entre as atividades de controle estatístico que possui e com o processo analisado.

5.3.2.Seleção dos Critérios para Avaliação

A seleção dos critérios que devem ser utilizados para a avaliação, através da análise comparativa dos trabalhos relacionados e do processo-padrão proposto, foi realizada com base em objetivos e questões estabelecidos (Quadro 18). Os objetivos foram identificados segundo os seguintes problemas encontrados na literatura (citados no Capítulo 1): apoio ferramental para todas as atividades do controle estatístico de processo de software e manter a rastreabilidade entre as atividades desse processo.

Dessa forma, foram identificados tais critérios:

- **Abrangência:** a ferramenta apresenta todos os requisitos identificados na revisão da literatura (seção 3.1);
- **Rastreabilidade da Funcionalidade:** manter a rastreabilidade entre as funcionalidades do controle estatístico de processo de software e o processo de software analisado.
- **Acurácia:** a ferramenta executa de forma correta as atividades de controle estatístico de processo de software.

Para cada um dos critérios identificados foram estipuladas formas de como esses critérios devem ser verificados. No caso do critério de abrangência, a avaliação é realizada através da verificação do atendimento ou não de determinado requisito pela ferramenta analisada. Já o critério de rastreabilidade, é verificado se a ferramenta mantém o rastro das atividades de controle estatístico e o processo analisado. E, para o critério de acurácia, deve ser verificada para cada ferramenta se executa de forma correta as atividades de controle estatístico.

Quadro 18. Seleção de Critérios para Avaliação das Ferramentas

Objetivo	Questão	Critério	Como Verificar?
Fornecer uma ferramenta para controle estatístico de processo de software	Qual a abrangência da ferramenta em termos de funcionalidades?	Abrangência	Utilizar os requisitos encontrados para verificar a abrangência da ferramenta em relação ao processo de controle estatístico.
Desenvolver uma ferramenta que forneça a rastreabilidade entre as atividades de controle estatístico	A ferramenta possui rastreabilidade entre as atividades do controle estatístico?	Rastreabilidade das Funcionalidades	Verificar se as ferramentas analisadas possuem relação entre as funcionalidades do controle estatístico.
Implementar uma ferramenta que realiza as atividades de controle estatístico de processo de software de forma correta, para o mesmo conjunto de dados	As atividades de controle estatístico de processo de software são executadas de forma correta pela ferramenta.	Acurácia	Verificar se as ferramentas analisadas executam de forma correta as atividades de controle estatístico

5.3.3. Análise Comparativa entre os critérios Estabelecidos e as Ferramentas Relacionadas e Ferramenta Proposta

A verificação do atendimento do critério de abrangência das ferramentas foi realizada através da Tabela 21, que apresenta os relacionamentos entre os requisitos da literatura encontrados e as ferramentas relacionadas ao trabalho e a última linha da tabela apresenta informações referentes à ferramenta apresentada neste artigo. Nessa tabela, quando o requisito é atendido totalmente é utilizada a marcação “T”, quando é atendido parcialmente “P” e “N”, quando não é atendido.

Em relação aos trabalhos relacionados à ferramenta para apoio ao CEP, algumas das ferramentas identificadas para realizar análises estatísticas tanto na manufatura quanto na engenharia de software são: *Action*, *CHARTRunner* e *Minitab*.

Essas ferramentas estão relacionadas a este trabalho em relação à geração de gráficos de controle, sendo que todas elas permitem gerar mais tipos de gráficos de controle que a ferramenta apresentada neste artigo. No entanto, para certos tipos de gráficos de controle como, X-Bar/R e X-Bar/S que permitem que os dados sejam agrupados com subgrupos de tamanho maior que um, a organização deve realizar o agrupamento de maneira “manual”, ou seja, as ferramentas não fornecem apoio automatizado (por exemplo, através da busca em bancos de dados) para agrupar as métricas coletadas. Esse tipo de apoio é fornecido na ferramenta apresentada neste trabalho.

Além disso, para gerar os gráficos de controle as ferramentas citadas necessitam de uma base de métricas externa ou, no caso da ferramenta *Action*, de um arquivo do Microsoft Excel. Segundo Barcellos (2009), uma base de métricas deve estar bem estruturada e deve permitir que as métricas sejam integradas aos processos e atividades da organização e que seja mantida a rastreabilidade entre todas as etapas do controle estatístico e os processos controlados. Nenhuma das ferramentas citadas acima fornece esse tipo de apoio, não sendo possível relacionar de forma automatizada os pontos de um gráfico de controle às atividades, aos produtos ou mesmo às características do processo. A ferramenta proposta neste artigo permite que os gráficos de controle sejam gerados de uma base de métricas integrada a uma ferramenta para desenvolvimento de software, dessa forma fornece o contexto de cada ponto do gráfico de controle.

Existem outras ferramentas que são aplicadas ao domínio específico de Engenharia de Software, como exemplo, a *DataDrill* e *TychoMetrics*, que estão relacionadas a esse trabalho

através do planejamento da medição (indicadores estatísticos) e geração dos gráficos de controle. Em relação ao planejamento da medição, essas ferramentas não apoiam a seleção dos processos que devem ser controlados estatisticamente e nem de um mecanismo para seleção de projetos similares segundo características da organização e nem a seleção de entidades similares. Na ferramenta aqui apresentada essas funcionalidades são contempladas na etapa de planejamento da medição. Em relação à geração dos gráficos de controle, os mesmos comentários relacionados às ferramentas anteriormente citadas são aplicáveis nesse caso.

Pode-se observar que a ferramenta proposta não atende aos requisitos R8 e R9. Apesar de a ferramenta *Minitab* atender esses requisitos, não mantém a rastreabilidade entre todas as atividades de controle estatístico de processo de software e nem com o processo controlado.

Tabela 21. Tabela de Ferramentas X Requisitos

Ferramentas	Requisitos								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
<i>Action</i>	N	N	N	T	N	N	N	N	N
<i>ChartRunner</i>	N	N	N	T	N	N	N	N	N
<i>DataDrill</i>	P	N	N	T	N	N	N	N	N
<i>Minitab</i>	N	N	N	T	N	N	N	T	T
<i>TychoMetrics</i>	P	N	N	T	N	N	N	N	N
Ferramenta Proposta	T	T	T	T	T	T	T	N	N

A Tabela 22 mostra que dentre as ferramentas relacionadas ao processo proposto, nenhuma mantém a rastreabilidade entre as atividades de controle estatístico e o processo analisado. Além disso, foi realizado um teste com as ferramentas analisadas e todas executaram de forma correta as atividades de controle estatístico que se propõem a fazer. A ferramenta proposta foi testada através de alguns cenários apresentados no Capítulo 4.

Tabela 22. Tabela de Ferramentas X Critérios

Ferramentas	Critérios	
	Rastreabilidade	Acurácia
<i>Action</i>	N	T
<i>ChartRunner</i>	N	T
<i>DataDrill</i>	N	T
<i>Minitab</i>	N	T
<i>TychoMetrics</i>	N	T
Ferramenta Proposta	T	T

5.4. Aderência ao Nível B do MR-MPS-SW

A abordagem apresentada tem relação com os resultados esperados de níveis avançados do Modelo de Referência do MR-MPS-SW, principalmente os relacionados ao Nível B. A seguir é apresentada a Tabela 23 que mostra a aderência do processo e da ferramenta apresentada aos resultados dos processo de gerência de projetos (GPR) e aos Resultados de Atributos de Processo (RAPs) do nível B.

Tabela 23. Tabela de Aderência ao Nível B do MR-MPS-SW

Resultados	Processo	Ferramenta
RAP22	Atende (SA1.1)	Atende
RAP23	Atende (SA1.3)	Atende
RAP25	Atende (SA1.2, SA1.7, SA1.8)	Atende
RAP26	Atende (SA1.5, SA1.6)	Atende
RAP27	Atende (SA2.1, SA3.1)	Atende
RAP28	Atende (SA3.1, SA4.7)	Atende Parcialmente (não possui identificação de capacidade)
RAP29	Atende (SA4.6)	Não atende
RAP30	Atende (SA3.1)	Atende
RAP31	Atende (SA4.5)	Atende
RAP32	Atende (SA4.2)	Atende
RAP33	Atende (SA4.3, SA4.4)	Atende
RAP34	Atende (SA3.1)	Atende

5.5. Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo apresentou as avaliações realizadas para o processo-padrão e ferramenta desenvolvida nesse trabalho. No entanto, há a necessidade da realização de uma avaliação mais formal dos requisitos da literatura, do processo-padrão proposto e da ferramenta desenvolvida, que pode ser uma revisão em pares, instância do processo em uma organização, entre outros.

Capítulo 6 - Conclusões

Este capítulo apresenta as considerações finais deste trabalho, assim como contribuições identificadas, limitações e trabalhos futuros.

6.1. Considerações Finais

O controle estatístico de processo de software é indicado pelos modelos de maturidade para organizações que buscam melhorar seus processos, tendo como base o entendimento da variabilidade dos processos controlados. No entanto, implantar um processo de controle estatístico não é uma tarefa fácil, ainda mais quando se considera a quantidade de medidas necessárias para serem utilizadas para os diversos atributos de processo, além do conhecimento estatístico necessário e de quais atividades e etapas são necessárias para a execução do processo.

Levando em consideração esse cenário, este trabalho apresentou um processo-padrão para controle estatístico de processo de software, com o intuito de orientar as organizações na realização do controle estatístico de processo de software, entender os passos necessários para execução de cada atividade relacionada a esse processo.

Além disso, foi proposta uma ferramenta para apoio das atividades relacionadas ao controle estatístico de processo de software. Através da solução elaborada para a definição do plano de medição para o controle estatístico, análise dos dados coletados (agrupados automaticamente, conforme definido no plano), análise das causas especiais e problemas, e acompanhamento das ações de melhoria através na máquina de execução, espera-se que as organizações possam acompanhar a variabilidade de seus processos, entender possíveis instabilidades, e melhorar seus processos.

Por fim, deve-se destacar que a integração do processo de medição com um ADS tem o benefício de desfrutar de todo o mecanismo e estrutura que o ambiente possui para gerenciamento de processos, permitindo que as atividades de medição e controle estatístico de processo de software sejam inseridas no processo de software sem aumento da complexidade do planejamento e modelagem de suas atividades. Assim, fornecer em um mesmo ambiente a rastreabilidade do processo que está sendo controlado estatisticamente, com o que está sendo planejado e analisado. Por exemplo, no plano de medição é possível selecionar entidades

dentro de um processo de um projeto que está sendo controlado, para seja que seja coletada as métricas necessárias para a análise. Outro exemplo é poder acompanhar o plano de melhoria através da execução das atividades de melhoria e rastrear para quais problemas e causas especiais de variação estão sendo eliminadas com o final da execução.

Nas subseções a seguir são apresentadas as contribuições, limitações e trabalhos futuros.

6.2. Contribuições

A principal contribuição deste trabalho consiste em fornecer um processo-padrão que tem potencial para servir de arcabouço e fonte de conhecimento para guiar as organizações na implementação do CEP de forma menos custosa.

Outra contribuição importante é a ferramenta apresentada, que se propõe a apoiar o um processo de software apresentado fornecendo um apoio automatizado das tarefas relacionadas ao planejamento e análise do CEP para software. Acredita-se que a integração dessas funcionalidades diminua inconsistências e torne o processo de CEP menos oneroso para organizações, pois permite que:

- Exista em um mesmo ambiente de forma integrada o planejamento, a coleta e a análise de métricas para o controle estatístico de processos de software. Ou seja, os subprocessos críticos e indicadores estatísticos estejam consistentes com os objetivos da organização e medição e que mudanças realizadas nesses objetivos sejam propagadas de forma dinâmica, ou seja, é mantida a rastreabilidade através da ferramenta entre as atividades de controle estatístico de processo de software;
- Forneça o agrupamento automático dos dados coletados para serem utilizados nos gráficos de controle, quando necessário, e não manualmente. Dessa forma, podem ocorrer menos erros na manipulação;
- Seja estabelecido um mecanismo para identificação de projetos similares a serem utilizados no controle estatístico, permitindo maior credibilidade na comparação dos resultados;
- Seja visualizado o contexto de medição de cada métrica utilizada nos gráficos de controle, com o objetivo de facilitar o entendimento de instabilidades no processo e descoberta de problemas e as causas desses problemas;

- Haja uma integração dos planos de ação a um ADS, auxiliando o acompanhamento de atividades de melhoria descritas no plano e na eliminação de causas especiais do processo.

6.3. Limitações

O processo-padrão proposto apresenta a falta de algumas atividades relacionadas à estabilização e controle, tais como: análise da estabilidade, definição dos objetivos quantitativos de desempenho para o projeto, estimativa de desempenho usando os modelos, monitoração da estabilidade e desempenho, incorporação dos resultados do processo no projeto ao repositório, e eliminação de causas comuns de variação.

Após o desenvolvimento da ferramenta foram realizados alguns testes e em seguida a simulação de alguns exemplos retirados da literatura (um dos exemplos foi apresentado nas seções 4.2.1), onde foi possível identificar algumas limitações da ferramenta, a seguir apresentadas:

- A infraestrutura preparada para o planejamento dos gráficos de controle não está adequada para os tipos de gráficos de controle u, pois além de selecionar a medida do indicador seria necessário definir a medida de tamanho que iria ser usada para a normalização.
- Não foi desenvolvido um mecanismo para identificação de entidades similares, somente para identificação de projetos similares. O usuário deve selecionar as entidades apenas usando seus conhecimentos das entidades do projeto, não existe um parâmetro para seleção.
- O módulo de definição e coleta das métricas precisa ser melhorado, para que se torne mais adequado ao CEP. Como exemplo, deve-se adicionar o conceito de métricas básicas e derivadas.
- Em gráficos de controle com muitos pontos a visualização é difícil, apesar de uma barra de rolagem estar disponível.
- Não é verificada a validade dos dados coletados, antes de serem utilizados na análise de desempenho do processo.
- Não há flexibilidade na realização dos testes de estabilidade. Em alguns gráficos, como o XmR, sempre será aplicado todos os testes. Isso torna o teste mais sensível e a possibilidade de encontrar falsas instabilidades é maior.

- Algumas anomalias não são identificadas, como tendências e oscilações.
- Na análise dos problemas encontrados não é possível relacionar um problema com outro e isso se aplica a descoberta de causas.
- Não há a geração dos modelos de desempenho do processo e nem a verificação da sua capacidade do processo.

6.4. Trabalhos Futuros

Como principal atividade futura tem-se a realização de uma avaliação mais formal do processo-padrão proposto, que pode ser uma revisão em pares, instância do processo em uma organização, entre outros. E, a partir desse trabalho, especificar um guia para a implantação do processo-padrão proposto.

Além disso, um estudo de viabilidade da ferramenta a ser aplicado durante uma disciplina de graduação em Engenharia de Software cuja ementa abrange a gerência quantitativa e o controle estatístico de processos de software. Nessa avaliação, espera-se obter indícios de que o processo proposto e a ferramenta apresentada fornecem insumos suficientes para a correta implantação do CEP em processos de desenvolvimento de software.

Por fim, outra atividade futura é melhorar o processo-padrão através de algumas oportunidades de melhoria identificadas na seção 6.3. Além disso, devem-se desenvolver na ferramenta algumas limitações citada na seção 6.3, tais como: verificação de entidades similares no momento da escolha de alvos de medição dos indicadores estatísticos, verificação da capacidade do processo, definição dos modelos de desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AT&T. **Statistical quality control handbook**.1956, Indianapolis, AT&T Technologies.
- BARCELLOS, M.P. **Uma Estratégia Para Medição de Software e Avaliação de Bases de Medidas Para Controle Estatístico de Processos de Software em Organizações de Alta Maturidade**. 2009, Tese de Doutorado, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro.
- BASILI, V. R. **Software Modeling and Measurement: The Goal/Question/Metric Paradigm**. 1992, Technical Report CS-TR-2956, Department of Computer Science, University of Maryland, College Park, MD 20742.
- BASILI, V. R., ROMBACH, H. D. **The TAME Project: Towards Improvement-Oriented Software Environments**. 1988, IEEE Transactions on Software Engineering.
- BATISTA, G.F. **Programa de medição para organizações de alta maturidade**. 2005, Dissertação Mestrado, FEEC, UNICAMP, Campinas, SP.
- BOFFOLI, N., BALDASSARRE, M.T., CAIVANO, D.**Statistical Process Control for Software: Fill the Gap**. 2010, Quality Management and Six Sigma, Abdurrahman Coskun (Ed.), ISBN: 978-953-307-130-5, Sciyo.
- CAMPOS, F. B., CONTE, T. U, KATSURAYAMA, A. E., ROCHA, A.R. **Gerência Quantitativa para o Processo de Desenvolvimento de Requisitos**. 2007, Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software, Anais do SBQS, pp. 125-139, Porto de Galinhas, Pernambuco.
- CARD, D. N. **Statistical Techniques for Software Engineering Practice**. 2004, Proceedings of the 26th International Conference on Software Engineering - ICSE'2004, Scotland, UK, pp. 722- 723
- DATADRIL. **DataDrill**. 2012. Disponível em: <http://www.distributive.com> , acessado em Fevereiro de 2012.
- DUNCAN, A. J. **Quality Control and Industrial Statistics**. 1986, 5th edition, Chicago: Richard. Irwin, Inc, 1986.
- ESTATCAMP. **Action**. 2010. Disponível em: Portal Action: <http://www.portalaction.com.br/content/anova>, Acesso em Julho de 2010,
- FENTON, N. E., PFLEEGER, S. L. **Software metrics: a rigorous and practical approach**. 1997, Second edition, Thompson Computers.
- FENTON, N., MARSH, W., CATES,P., FOREY,S., TAYLOR,M. **Making Resource Decisions for Software Projects**. 2004, Proceedings of the 26th International Conference on Software Engineering, Escócia.
- FLORAC, W.A., CARLETON,A.D. **Measuring the Software Process: Statistical Process Control for Software Process Improvement**. 1999, Addison Wesley, 1999.

FRANÇA, B.N. **Proposta de um Modelo de Simulação de Processo de Software para o Ambiente WebAPSEE**. 2007, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Faculdade de Computação, UFPA, Belém.

FUGGETTA, A. **Software Process: a Roadmap**. 2000, The Future of Software Engineering, IEEE Computer Society, pp. 25-34.

IEEE 1061-1998. **IEEE Standard for a Software Quality Metric Methodology**. 1998, IEEE, Nova York, EUA.

JFREECHART. 2012. Disponível em <http://www.jfree.org/jfreechart/>, acesso em 11 de 11 de 2012.

KOMURO, M., **Experiences of applying SPC techniques to software development**. 2006, Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering, Shanghai.

LIMA, A. M., Lima Reis, C. A. , Reis, R. Q. **Análise do Ambiente WebAPSEE no atendimento aos requisitos de Gerência de Processos de Software**. 2006, XX Semana Paraense de Informática, SEPAI/CTIC. Belém, PA.

LIMA REIS, C. A. **Uma abordagem flexível para execução de processo de softwares evolutivos**. 2003, Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2003. Tese de Doutorado.

MCGARRY, J., CARD, D., JONES, C., LAYMAN, B., CLARK, E., DEAN, J., HALL, F. **Practical Software Measurement Objective Information for Decision Makers**. 2002, Addison Wesley.

MINITAB. **Conheça o Minitab**. 2006. Disponível em http://www.minitab.com/uploadedFiles/Shared_Resources/Documents/MeetMinitab/MeetMinitabPT.pdf, acesso em 09 de 12 de 2011

MONTONI, M., KALINOWSKI, M., LUPO, P., ABRANTES, J.F., FERREIRA, A.I.F., ROCHA, A.R. **Uma Metodologia para Desenvolvimento de Modelos de Desempenho de Processos para Gerência Quantitativa de Projetos de Software**. 2007, Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software, Anais do SBQS, pp. 325-339, Porto de Galinhas, Pernambuco.

MOREIRA, P., PINHEIRO, L., RIBEIRO, J., SOUZA, C., REIS, R. **Aplicação dos Gráficos de Controle CUSUM Tabular para Avaliação da Aderência dos Projetos ao Processo de Software**. 2008. VII Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS), Florianópolis

NASCIMENTO, L. M. A. **Uma abordagem automatizada de medição processos de software**. 2007, Dissertação de Mestrado, UFPA, PPGE, Belém.

RIBEIRO, T., NASCIMENTO, L., LIMA, L., Reis, C., REIS, R. **Apoio à Medição em um ADS Centrado em Processos**. 2011, Workshop Anual do MPS - WAMPS 2011.

PARK, R., GOETHERT, W. , FLORAC, W. **Goal-Driven Software Measurement – A Guidebook**. 1996, CMU/SEI-96-HB-002, ADA313946, Pittsburgh, PA, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University.

PQSYSTEMS. **User's Guide**. 2008. Disponível em: http://www.pqsystems.com/support/userguides/CHARTrunner_User_Guide.pdf, acessado em 30 de Novembro de 2011.

RPROJECT. 2010. Disponível em : <http://www.r-project.org/>, acessado em julho de 2012.

RAMOS, E. M. L. S. **Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade utilizando Quartis para estimar o Desvio Padrão**. 2003, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina.

SCHOTS, N. C. L., ROCHA A. R. **Um Workflow para Controle Estatístico de Processos em Software**. 2012, COPPE/UFRJ, WAMPS 2012, Campinas, São Paulo.

SEI. **CMMI® for Development, Version 1.3**. 2010. Disponível em: <http://www.sei.cmu.edu/reports/10tr033.pdf>, Acessado em agosto de 2012

SOFTEX. **MPS.BR – Guia de Implementação – Parte 6: Nível B do MR-MPS**. 2012. Disponível em: http://www.softex.br/mpsbr/_guias/guias/MPS.BR_Guia_de_Implementacao_Parte_6_2011.pdf, acessado em agosto de 2012.

SOFTEX. **MPS.BR – Guia Geral**. 2012. Disponível em: http://www.softex.br/mpsbr/_guias/guias/MPS.BR_Guia_Geral_2011.pdf, acessado em agosto de 2012.

SOLINGEN, R., BERGHOUT, E. 1999, **The Goal/Question/Metric Method: A Practical Guide for Quality Improvement of Software Development**. McGraw-Hill.

TYCHOMETRICS. **TychoMetrics**. 2011. Disponível em: <http://www.tychometrics.com/>, acessado em fevereiro de 2012.

VON WANGENHEIM, Christiane G.; VON WANGENHEIM, Aldo. 2003. **Raciocínio Baseado em Casos**. Editora Manole Ltda., 2003.

WANG, Q., GOU, L., JIANG, N., CHE, M., ZHANG, R., YANG, Y., LI, M. **An Empirical Study on Establishing Quantitative Management Model for Testing Process**. 2007, Lecture Notes in Computer Science.

WANG, Q., JIANG, N., GOU, L., LIU, X., LI, M., WANG, Y. **BSR: A Statistic-Based Approach for Establishing and Refining Software Process Performance Baseline**. 2006. Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering, ACM Press.

WANG, Q. *et al.*, **An empirical study on establishing quantitative management model for testing process**. 2007, Lecture Notes in Computer Science.

WANGENHEIM, C.G.V., WANGENHEIM, A.V. **Raciocínio Baseado em Casos**. 2003, Editora Manole Ltda.

WHEELER, D.J., CHAMBERS, D.S. **Understanding statistical process control**. 1992, 2nd Ed. SPC Press, 1992.

SHEWHART, W.A. **Economic Control of Quality of Manufactured Products**. 1931, Van Nostrand, New York.

ANEXO I – Modelo de Dados Detalhado da Implementação do CEP no Domínio de Projetos

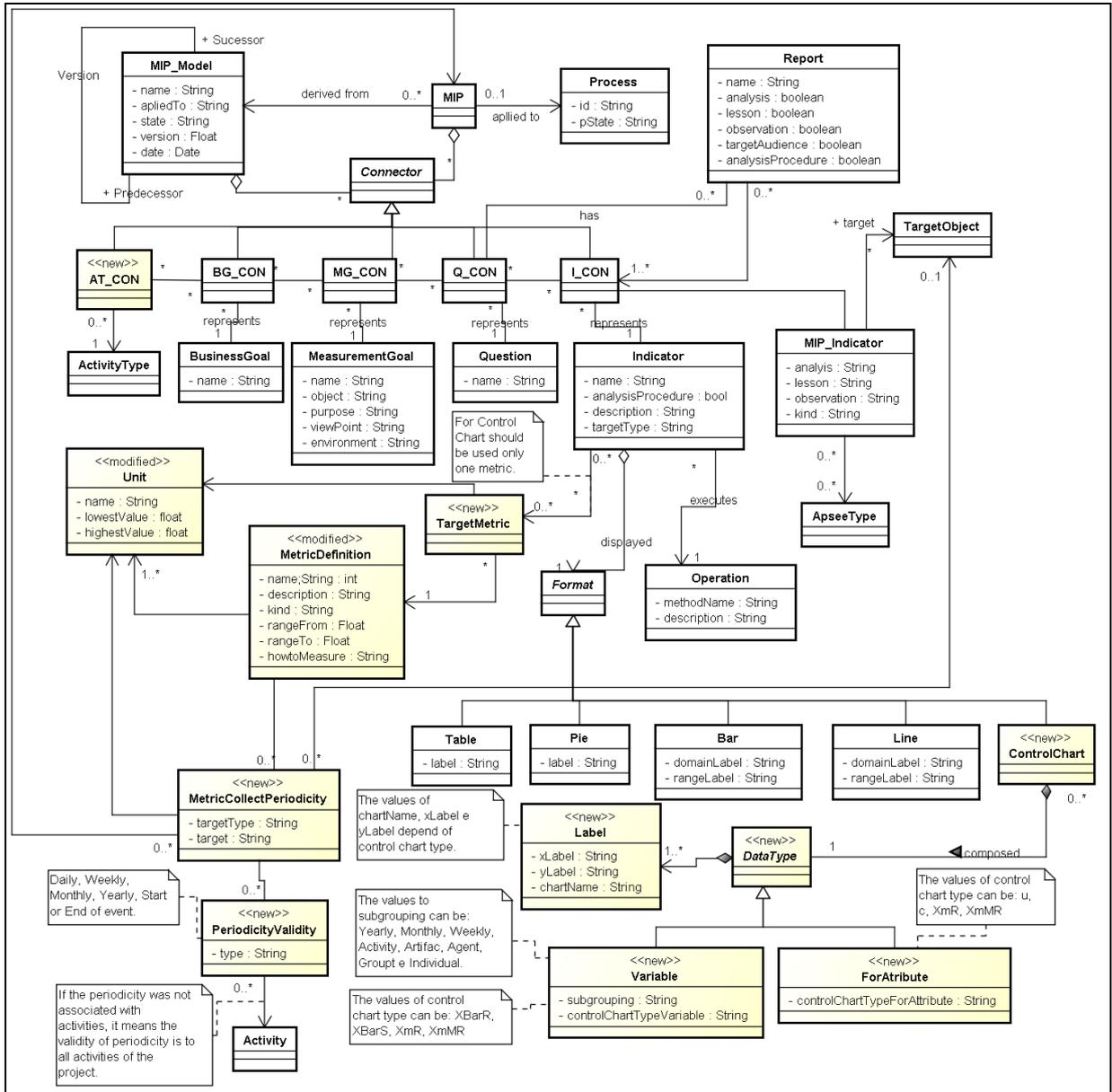


Figura 70. Modelo de Dados Detalhado da Implementação do CEP no Domínio de Projetos

