



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO POTENCIAL DE PROJETOS DE SOFTWARE
COM SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

Reinaldo Cabral Silva Filho

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

Orientadores: Ana Regina Cavalcanti da Rocha
Gleison dos Santos Souza

Rio de Janeiro
Junho de 2012

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO POTENCIAL DE PROJETOS DE SOFTWARE
COM SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

Reinaldo Cabral Silva Filho

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

Examinada por:

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

Prof. Gleison dos Santos Souza, D. Sc.

Prof. Toacy Cavalcante de Oliveira, D. Sc.

Prof. Márcio de Oliveira Barros, D. Sc.

Prof. Leonardo Gresta Paulino Murta, D. Sc.

Prof. Rafael Prikladnicki, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2012

Silva Filho, Reinaldo Cabral

Avaliação do Desempenho Potencial de Projetos de Software com Simulação de Processos / Reinaldo Cabral Silva Filho. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XIV, 165 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Ana Regina Cavalcanti da Rocha
Gleison dos Santos Souza.

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 115-130.

1. Planejamento de Projetos. 2. Processos de Software. 3. Simulação. I. Rocha, Ana Regina Cavalcanti *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. III. Título.

AGRADECIMENTOS

À Izalina, minha mãe, pelo amor que me permite superar todos os obstáculos e intensifica meus momentos de conquista e felicidade.

Ao meu pai, que me inspira e fomenta a minha criatividade.

Às minhas irmãs, Isabela e Evelyne, pelo afago permanente em meu coração, estímulo constante e vitórias compartilhadas.

À Mylene Cabral, minha esposa, pela compreensão, paciência, incentivo, contribuição e pelo seu amor.

Aos meus tios Benedito (*in memoriam*), Hélio, Irenita, Jaime, Marlene, Marlise e Vanda, pelo apoio em momentos difíceis e presença nos momentos felizes.

Aos meus sogros, Mauro e Dagmar, por todo o apoio, estímulo e demonstrações de carinho durante esta caminhada.

Aos compadres, Cláudia, Alex, Sâmia e Josué, por acompanhar cada passo.

À Saminha, ao Maurinho e ao Tico, por toda atenção e tranquilidade que me deram neste período.

Às minhas sobrinhas, Ingrid, Lavínia e Nathália, pelas alegrias e pelo carinho.

À Luciana Lima, pelo suporte estratégico que facilitou o início da jornada.

Às amigas de todas as horas, Maíra e Simone.

À Tayana Conte, pelo companheirismo ao longo destes anos.

Às amigas Monalessa e Carla Lima, pela torcida e pelas vibrações positivas.

Ao professor Guilherme Travassos, por provocar reflexões sobre o meu trabalho, até mesmo quando não estava por perto.

Aos profissionais que colaboraram com a pesquisa, em especial, Renata Monteiro, Lourenço, Elísio, Clóvis, Alan, Socorro, Flávio, Lorena, Emerson, Klevisson e Jean Paul.

Aos meus amigos da COPPE, Ahilton, Andrea, Anne, Breno, Cristina, David, Elaine, Fabrício, Gisele, Marcelo, Mariano, Mylene (sim, é ela), Natália, Peter,

Rômulo, Simões e Thiago, pelas discussões empolgantes, por participarem e agregarem valor a esta experiência incrível.

Aos meus amigos de trabalho, Diogo, Diego, Sunny, Bruno, Alex, Fabiano, Luis, Alexandre, Iran, Jardel, Keven, Randy, José Cloves, Rafael, Rodrigo e Rodrigo Paes, pela compreensão e cooperação.

À Taísa, por seu compromisso e disposição para ajudar.

Aos meus orientadores, Ana Regina Rocha e Gleison Santos, pela paciência, pela paciência e pela paciência, além da compreensão, confiança e extrema boa vontade.

À Ana Regina Rocha, mais uma vez, pelo novo caminho que deu à minha vida.

À equipe do PESCC, Solange, Soninha e Cláudia Prata, pela atenção dispensada às questões triviais e não triviais do cotidiano.

À Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade de aprimorar minha formação.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro.

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

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO POTENCIAL DE PROJETOS DE SOFTWARE
COM SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

Reinaldo Cabral Silva Filho

Junho/2012

Orientadores: Ana Regina Cavalcanti da Rocha

Gleison dos Santos Souza

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Esta tese propõe um instrumento capaz de apoiar a avaliação do desempenho potencial de projetos com relação aos indicadores de custo, esforço e prazo. O instrumento encapsula o conhecimento sobre os eventos que podem influenciar a execução dos projetos e propaga o efeito destes eventos probabilisticamente à medida que simula a execução dos projetos. Os efeitos destes eventos são computados de forma não determinística e são observados pela análise dos indicadores de esforço, prazo e custo do projeto.

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

POTENTIAL PERFORMANCE EVALUATION OF SOFTWARE PROJECTS
USING PROCESS SIMULATION

Reinaldo Cabral Silva Filho

June/2012

Advisors: Ana Regina Cavalcanti da Rocha
Gleison dos Santos Souza

Department: Systems and Computing Engineering

This thesis proposes a tool to support the evaluation of the potential performance of projects with respect to indicators of cost, effort and time. The tool encapsulates the knowledge about events that may influence the execution of projects and propagates the effect of these events as probabilistically simulates the execution of projects. The effects of these events are computed on a non-deterministic and are observed by the analysis of indicators of effort, time and cost of the project.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contexto.....	1
1.2. Questão de Pesquisa.....	3
1.3. Objetivo	4
1.4. Metodologia de Pesquisa	4
1.5. Estrutura do Trabalho	5
CAPÍTULO 2. ESTIMANDO O DESEMPENHO DE PROJETOS DE SOFTWARE 7	
2.1. Introdução	7
2.2. Gerência Quantitativa de Projetos de Software	9
2.3. Análises e Estimativas em Prol do Desempenho dos Projetos	12
2.4. Caracterização das abordagens	23
2.5. Considerações Finais	24
CAPÍTULO 3. A CONSTRUÇÃO DE MODELOS PARA SIMULAÇÃO DE PROCESSOS DE SOFTWARE.....	26
3.1. Introdução	26
3.2. Classificação	28
3.3. Abordagens para Construção	31
3.4. Verificação e Validação.....	43
3.5. A Captura do Conhecimento a ser Incorporado nos Modelos	44
3.6. Considerações Finais	45
CAPÍTULO 4. PROGNÓSTICO DO DESEMPENHO POTENCIAL DE PROJETOS DE SOFTWARE.....	47
4.1. Introdução	47
4.2. O Modelo Conceitual de Referência.....	50
4.3. O Instrumento Proposto	51
4.4. Trabalhos Correlatos.....	61

4.5. Considerações Finais	62
CAPÍTULO 5. AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PREDITIVA.....	64
5.1. Introdução	64
5.2. Definição.....	65
5.3. Planejamento.....	65
5.4. Estudo Primário Selecionado.....	72
5.5. Execução do Estudo.....	73
5.6. Considerações Finais	81
CAPÍTULO 6. EXPERIÊNCIA COM DADOS DE PROCESSOS	82
6.1. Introdução	82
6.2. A Organização Participante	83
6.3. Avaliação dos Projetos Simulados.....	85
6.4. Avaliação de Utilidade sob a Ótica da Gerência Quantitativa.....	99
6.5. Considerações Finais	106
CAPÍTULO 7. CONCLUSÃO.....	107
7.1. Introdução	107
7.2. Contribuições	111
7.3. Limitações Observadas	112
7.4. Trabalhos Futuros	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
APÊNDICE A. A PRIMEIRA VERSÃO DO INSTRUMENTO	131
A.1. Componentes do Instrumento.....	131
A.2. Visão Geral do Instrumento.....	140

APÊNDICE B. UMA EXPERIÊNCIA COM A PRIMEIRA VERSÃO DO INSTRUMENTO	143
APÊNDICE C. PROTÓTIPO DA BIBLIOTECA DE MODELOS PREDITIVOS...	151
APÊNDICE D. PLANILHAS COM DADOS DOS COMPONENTES	156
APÊNDICE E. REGISTROS EXCLUÍDOS DOS PROJETOS	160
APÊNDICE F. TESTE DE CONHECIMENTO EM GERÊNCIA QUANTITATIVA.....	163
APÊNDICE G. QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO INSTRUMENTO	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Estratégia de pesquisa.....	5
Figura 2-1. Comportamento do Processo Garantia da Qualidade do Processo e do Produto do LENS com relação ao esforço investido para avaliar o relatório de monitoração dos projetos no período de fevereiro a junho de 2008.....	16
Figura 2-2. Passos para avaliar a estabilidade de um processo utilizando gráficos de controle (WHEELER e CHAMBERS, 1992).	20
Figura 2-3. Testes para detecção de causas especiais disponíveis da ferramenta Minitab.	20
Figura 3-1. Relacionamento entre "por quê?" e "o que?" simular (KELLNER <i>et al.</i> , 1999).....	27
Figura 3-2. Processo Iterativo de Modelagem da Simulação (MÜLLER e PFAHL, 2008)	33
Figura 3-3. Arcabouço para adoção da simulação em organizações CMMI (ZHANG <i>et al.</i> , 2007).....	34
Figura 3-4. Fases do processo do IMMoS utilizando a notação BPM (OMG, 2008). Adaptado de (PFAHL, 2001).....	35
Figura 3-5. Processo para construção de modelos de IMMoS utilizando a notação BPM (OMG, 2008).	38
Figura 3-6. Esboço da metodologia proposta por RUS <i>et al.</i> (2003) utilizando a notação BPM(OMG, 2008).....	41
Figura 3-7. Taxonomia para verificação de modelos de simulação executáveis (WHITNER e BALCI, 1989).	43
Figura 4-1. Composição do processo a partir de componentes de processo.	48
Figura 4-2 . Cenário de aplicação do instrumento proposto.....	49
Figura 4-3. Características de elementos que compõe o ambiente de desenvolvimento de software	50
Figura 4-9. Segunda versão do instrumento	54
Figura 4-6. Decomposição do indicador <i>Prazo</i>	59
Figura 4-7. Decomposição do indicador <i>Esforço</i>	60
Figura 4-8. Decomposição do indicador <i>Custo</i>	60
Figura 5-1. Histograma da amostra de análise para a produtividade.....	75
Figura 5-2. Distribuição binomial para amostra de tamanho 5	79
Figura 5-3. Distribuição binomial para amostra de tamanho 18	80
Figura 6-1. Fase 1 do processo padrão de desenvolvimento da organização (Fonte: Intranet da organização)	84

Figura 6-2. Fase 2 do processo padrão de desenvolvimento da organização (Fonte: Intranet da organização)	84
Figura 6-3. Fase 3 do processo padrão de desenvolvimento da organização (Fonte: Intranet da organização)	85
Figura 6-4. Histograma da produtividade para o componente “Codificar”.....	89
Figura 6-5. Trecho de código do MSPS	91
Figura 6-6. Representação do processo padrão da empresa no MSPS	92
Figura 6-7. Tela inicial da ferramenta	94
Figura 6-8. Planejamento do componente “Planejar Projeto”	95
Figura 6-9. O instrumento com o indicativo dos componentes não planejados (em branco).....	95
Figura 6-10. Primeira rodada de simulação para o Projeto 1	96
Figura 6-11. Gráfico de dispersão do erro absoluto	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1. Resultados de Gerência de Projetos exigidos a partir do nível B.....	8
Tabela 2-2. Características de tipos de instrumentos úteis ao planejamento na perspectiva da Gerência Quantitativa.....	24
Tabela 3-1. Tipos de técnicas de simulação e principais diferenças. Adaptado de (MÜLLER e PFAHL, 2008).....	30
Tabela 3-2. Dinâmica de sistemas e simulação de eventos discretos (RAFFO e WAKELAND, 2007).....	31
Tabela 4-1. Exemplo da identificação de um evento.....	55
Tabela 4-2. Registro das influências que atuam no processo.....	57
Tabela 4-3. Decomposição dos indicadores <i>Esforço, Prazo e Custo</i>	58
Tabela 5-1. Objetivo do estudo comparativo.....	65
Tabela 5-2. Dados de Projetos da NASA (SHETA <i>et al.</i> , 2008).....	74
Tabela 5-3. Amostra de análise com o esforço em Homem-Hora e a produtividade calculada.....	74
Tabela 5-4. Caracterização da <i>Produtividade</i>	75
Tabela 5-5. Caracterização do evento.....	75
Tabela 5-6. Rodadas de simulação para seleção do valor intermediário.....	76
Tabela 5-7. Comparação do desempenho entre os modelos.....	77
Tabela 5-8. Fuzzy x PSO Based COCOMO para a amostra completa.....	78
Tabela 5-9. Instrumento proposto x PSO Based COCOMO para amostra de teste.....	78
Tabela 5-10. Instrumento proposto x modelo Fuzzy para amostra completa.....	80
Tabela 5-11. Diferença entre os instrumentos preexistentes e o instrumento proposto.....	81
Tabela 6-1. Objetivo do estudo de caso.....	85
Tabela 6-2. Projetos selecionados.....	86
Tabela 6-3. Dados brutos do componente “Codificar”.....	87
Tabela 6-4. Cômputo da produtividade para o componente “Codificar” em cada projeto.....	88
Tabela 6-5. Cálculo dos parâmetros necessários à construção do histograma.....	88
Tabela 6-6. Blocos do histograma.....	89
Tabela 6-7. Cálculo da variação da produtividade com relação a média.....	90
Tabela 6-8. Representação das influências que atuam no componente “Codificar”.....	90
Tabela 6-9. Esforço ajustado dos projetos.....	92

Tabela 6-10. Esforço provável para cada projeto da amostra nas rodadas de simulação	97
Tabela 6-11. Cálculo da magnitude do erro relativo para cada projeto.....	98
Tabela 6-12. Objetivo do estudo de caso.....	100
Tabela 6-13. Respostas obtidas no teste realizado anterior ao treinamento	104
Tabela 6-14. Respostas obtidas no teste realizado após o treinamento	104
Tabela 6-15. Respostas obtidas no teste realizado após o exercício com o instrumento	104
Tabela 6-16. Quantitativo das respostas do questionário de caracterização.....	105

Capítulo 1. Introdução

A grande quantidade de variáveis, os riscos e as oportunidades relacionadas à execução de projetos de software aumentam a importância das decisões durante o planejamento de projetos. A construção de uma visão sobre o que pode ocorrer durante a execução de um projeto de software pode apoiar uma avaliação prévia sobre os prováveis resultados do projeto e, conseqüentemente, subsidiar a análise de alternativas e a tomada de decisão durante o planejamento dos projetos. Este capítulo descreve este cenário, aponta para as questões que motivaram esta investigação e apresenta como a pesquisa foi planejada e conduzida para que o seu objetivo fosse alcançado.

1.1. Contexto

O ambiente de desenvolvimento de software é complexo. Este ambiente, que é regido por políticas e procedimentos, possui um conjunto de características que podem influenciar a execução do projeto e que podem se influenciar mutuamente (FENTON e PFLEEGER, 1997). Além disso, inúmeros eventos podem ocorrer e influenciar a execução do processo (DONZELLI, 2006).

A diversidade e a complexidade inerente aos processos de desenvolvimento de software (LINDVALL e RUS, 2000) corroboram com a visão de que cada projeto de software é único. Mesmo que um software fosse desenvolvido pela segunda vez, para atender aos mesmos requisitos, com a mesma equipe e no mesmo ambiente, seria possível observar inúmeras diferenças na execução do processo e nos produtos de trabalho. A complexidade dos projetos de software é moldada por uma cultura organizacional intrínseca ao ambiente em que ele está inserido e é pautada pelas interações internas e externas entre os colaboradores, clientes, fornecedores e concorrentes.

A grande quantidade de variáveis e a diversidade de alternativas disponíveis para execução dos projetos aumentam a importância das decisões durante o planejamento e controle dos projetos. Para planejar a execução de um projeto adequadamente, há necessidade

de entender como o projeto pode ser afetado por cada alternativa disponível. É preciso avaliar como as decisões de planejamento afetam a execução do processo em cada etapa, observar a propagação destes efeitos nos indicadores e nas principais restrições do projeto.

Neste cenário, os gerentes de projeto se deparam com uma difícil questão: qual das alternativas disponíveis é capaz de viabilizar o alcance dos objetivos do projeto? O grau de risco destas alternativas pode variar. Quanto maior o risco para o projeto, mais eficaz deve ser a análise para a identificação e avaliação de alternativas disponíveis.

De acordo com RUS (2003), a dificuldade do planejamento de projetos de software deve-se a: (i) complexidade do desenvolvimento de software que envolve várias atividades, artefatos, atores, interessados e interações; (ii) incerteza associada ao processo e seus resultados devido ao desenvolvimento de software ser uma atividade essencialmente humana; (iii) necessidade de tratar com objetivos múltiplos e conflitantes, além de ter que acomodar os diferentes objetivos dos envolvidos; e a (iv) escassez e imprecisão das informações que apoiam a tomada de decisão.

Segundo CHARRETTE (2005), a maior parte dos problemas nos projetos de software é causada por más decisões por parte dos gerentes de projeto. Para o autor, estas decisões são extremamente complexas porque envolvem análises de possibilidades que são baseadas no conhecimento incompleto e impreciso. DONZELLI (2006) também acrescenta que, além da complexidade inerente à natureza sociotécnica do processo de desenvolvimento, eventos contínuos e discretos ocorrem com frequência durante a execução dos projetos. Estes eventos, combinados com ciclos de retorno entre as variáveis do processo, provocam efeitos de difícil análise. A dificuldade aumenta principalmente quando as decisões são capazes de provocar efeitos múltiplos, indiretos, não lineares e retardados na linha do tempo (STERMAN, 1989).

Para capturar esta complexidade e auxiliar a tomada de decisão em projetos de software, RUS *et al.* (1999), PFAHL e LEBSANFT (2000b), ANDERSSON *et al.* (2002), DONZELLI (2006), RAFFO e VANDEVILLE (2006), KIRK e MACDONELL (2009) e outros autores, têm proposto o uso de modelos de simulação para realizar análises do tipo “o que acontece se”.

Atualmente, mesmo com inúmeras possibilidades de aplicação no âmbito da Engenharia de Software (RAFFO e WAKELAND, 2007; ZHANG *et al.*, 2008b), o uso de simulação nas organizações de software ainda é restrito. Relatos de experiência com o uso

deste instrumento, geralmente estão associados às organizações que visam atingir altos níveis de maturidade em processos de software (STODDARD-II e GOLDENSON, 2010).

Além da simulação, outras ferramentas podem ser utilizadas para obter subsídios para apoiar à tomada de decisão durante o planejamento e controle de projetos de software, como por exemplo, o raciocínio baseado em casos (VASUDEVAN, 1994), sistemas de recomendação (YANG e WANG, 2009; BARRETO e ROCHA, 2010), modelos paramétricos (BOEHM *et al.*, 1995; FISCHMAN *et al.*, 2005), opinião do especialista (JØRGENSEN, 2007), modelos probabilísticos (FENTON *et al.*, 2004; PENDHARKAR *et al.*, 2005), assistentes inteligentes (WU e SIMMONS, 2000), abordagens baseadas em otimização (BARRETO *et al.*, 2008a; LOGUE e MCDAID, 2008), metaheurísticas (CHICANO *et al.*, 2011), métodos estatísticos (LOGUE e MCDAID, 2008), dentre outras. Entretanto, essas ferramentas não proveem uma perspectiva que possibilite a observação de como os elementos constituintes do processo interagem ao longo de sua execução, o que facilitaria a comparação e seleção de alternativas que podem contribuir com o incremento do desempenho do projeto.

Diante deste cenário, crê-se que a existência de instrumentos que facilitem a construção e execução dos modelos de simulação de processos de software pode contribuir com a qualidade das decisões tomadas durante o planejamento e controle de projetos de software à medida que oferece recursos que facilitam a avaliação do desempenho potencial de projetos de software.

1.2. Questão de Pesquisa

Tendo em vista as restrições dos modelos mentais no que tange à capacidade de análise em cenários complexos (STERMAN, 1992), pressupõe-se que a construção e o uso de modelos de simulação de processos de software podem auxiliar o tomador de decisão (neste caso, o gerente de projetos) a aprofundar seu entendimento sobre os potenciais efeitos de suas decisões durante o planejamento de projetos de software. Também se supõe que seja possível fazer uso de tais modelos para estimar as chances que um projeto possui de atender determinados objetivos de desempenho.

Contudo, não se espera que os gerentes de projeto possuam conhecimento suficiente que os tornem aptos a construir modelos de simulação, visto que este tema não pertence ao corpo de conhecimento de gerenciamento de projetos.

Considerando este contexto, esta tese se propõe a responder a seguinte questão:

Como avaliar o desempenho potencial dos projetos, com relação aos indicadores custo, esforço e prazo, por meio do uso de modelos de simulação de processos de software?

1.3. Objetivo

O objetivo geral desta tese é **possibilitar a avaliação do desempenho potencial de projetos de software com relação ao custo, prazo e esforço**. Esta avaliação deve permitir uma análise estrutural sobre o comportamento do processo durante o planejamento do projeto, de forma que seja possível identificar quais as partes do processo exercem mais influência nos indicadores de desempenho do projeto. Além disso, é importante que esta avaliação considere a incidência de eventos não determinísticos ao longo da execução processo, cujo efeito em determinada etapa do processo pode ser propagado e refletido no resultado final do projeto.

A expectativa é que o produto resultante desta tese seja capaz de indicar as chances que um projeto de desenvolvimento de software possui de atender a determinado conjunto de restrições descritas em termos dos indicadores de prazo, custo e esforço.

1.4. Metodologia de Pesquisa

Inicialmente foi realizada uma análise da literatura em busca de instrumentos que pudessem apoiar a avaliação prévia do desempenho de projetos de software de forma que fosse possível observar as partes do processo que poderiam exercer mais influência nos seus resultados. Constatou-se que a simulação de processos de software, dada suas características, poderia ser útil ao desenvolvimento desta pesquisa. Diante disso, foi iniciada uma revisão da literatura para identificar os principais fóruns e publicações relevantes na área de simulação de processos de software. A partir de então, a revisão da literatura teve foco na identificação dos principais obstáculos à construção de modelos da simulação de processos de software. Softwares de simulação foram identificados, experiências relacionadas à construção e uso de modelos de simulação foram apreciadas e pesquisas em prol do desenvolvimento da área foram analisadas.

O levantamento bibliográfico inicial forneceu elementos para elaboração de uma proposta preliminar, que foi submetida a uma experiência na indústria com o intuito de promover a imersão do pesquisador ao ambiente real, avaliar a viabilidade da proposta e

coletar subsídios para apoiar o aperfeiçoamento do instrumento (SILVA FILHO e ROCHA, 2010).

Os resultados da primeira experiência indicaram um conjunto de questões a serem tratadas para tornar a proposta viável. Cada questão identificada foi considerada na evolução da proposta.

Em paralelo ao desenvolvimento da pesquisa foi dada continuidade à revisão da literatura com o propósito de acompanhar a evolução dos trabalhos relacionados a esta tese. A Figura 1-1 ilustra as ações que nortearam a execução desta pesquisa.

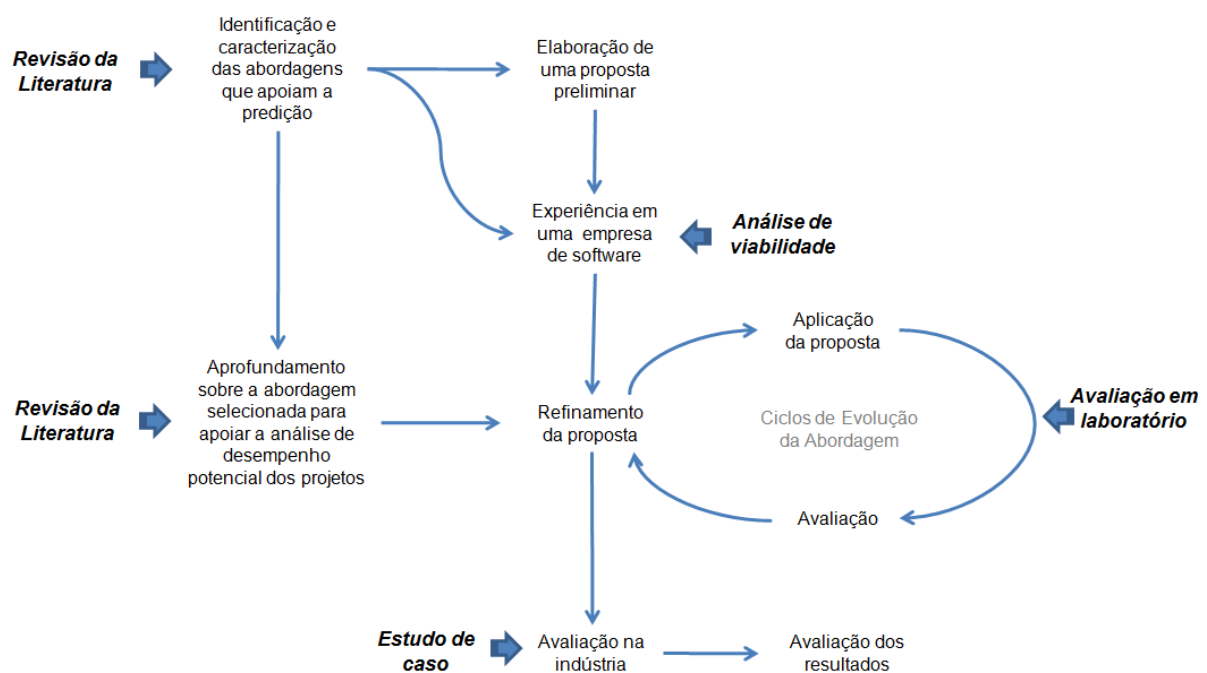


Figura 1-1. Estratégia de pesquisa

1.5. Estrutura do Trabalho

Além deste capítulo introdutório, este trabalho possui mais seis capítulos, conforme descrito a seguir:

O segundo capítulo identifica instrumentos que podem apoiar a avaliação prévia do desempenho do projeto durante o planejamento de projetos e relaciona um conjunto de características que podem indicar o grau de utilidade destes instrumentos sob a ótica da Gerência Quantitativa.

O terceiro capítulo apresenta a simulação como um instrumento útil à avaliação e predição no âmbito da Engenharia de Software e as características que distinguem os principais tipos de técnicas de simulação. Também são discutidas as principais abordagens que apoiam a construção de modelos de simulação de processos de software e os aspectos relevantes associados a cada passo do processo de construção de modelos de simulação.

O capítulo quatro descreve o instrumento proposto e seus elementos constituintes, que tem como objetivo facilitar a avaliação do desempenho potencial de projetos de software.

O capítulo cinco apresenta uma experiência realizada em laboratório com o intuito de avaliar a capacidade preditiva do instrumento proposto por esta tese. Foram realizados estudos comparativos com modelos de estimativas para observar se o instrumento seria capaz de prover estimativas equivalentes às providas por modelos de estimativas pré-existentes de bom desempenho.

No capítulo seis são descritos dois estudos realizados em uma empresa de software com nível F de maturidade no MR-MPS. O primeiro estudo avalia a capacidade preditiva do instrumento calibrado com os dados históricos da organização. O segundo estudo submete o instrumento à avaliação dos líderes de projeto para verificar quais características são percebidas pelos usuários ao realizar um exercício.

Finalizando, o capítulo sete apresenta as contribuições desta tese, as limitações e trabalhos futuros.

Capítulo 2. Estimando o Desempenho de Projetos de Software

O planejamento de projetos de software deve ser realizado de forma a atender aos objetivos de desempenho e restrições impostas ao projeto. Para facilitar esta tarefa, é importante que este planejamento seja auxiliado por instrumentos que apoiem uma avaliação prévia do desempenho do projeto. Este capítulo apresenta instrumentos que proveem subsídios a este tipo de avaliação e um conjunto de características desejáveis para tais instrumentos.

2.1. Introdução

A atividade de planejamento de projetos de software é permeada por questões que podem influenciar diretamente o alcance dos objetivos de qualidade e de desempenho do processo definido para o projeto, por exemplo: “Qual a melhor composição da equipe do projeto?”, “O que pode ocorrer durante a execução do projeto?”, “Quais os subprocessos que aumentam as chances de atender aos requisitos e às restrições do projeto?”. É preciso ter resposta a estas e outras questões para aumentar as chances de sucesso na execução do projeto.

Empresas que buscam a alta maturidade tentam responder essas questões com o uso de técnicas quantitativas e estatísticas para aumentar a objetividade e assertividade das decisões durante o planejamento de projetos. No MR-MPS (SOFTEX, 2011), por exemplo, dentre os resultados do processo Gerência de Projetos para o nível B de maturidade (Tabela 2-1), o GPR-23 estabelece: “O processo definido para o projeto que o possibilita atender seus objetivos de qualidade e de desempenho é composto com base em técnicas estatísticas e outras técnicas quantitativas”. Como evidência para este resultado, a organização precisa demonstrar que a composição do processo definido para os projetos é feita a partir da seleção de subprocessos, e que houve uma avaliação prévia para verificar se estes subprocessos selecionados possuem estabilidade e capacidade suficiente para atender aos objetivos de

desempenho do projeto. Realizar esta avaliação não é trivial, requer conhecimento e habilidades que não são comuns aos gerentes de projeto.

Tabela 2-1. Resultados de Gerência de Projetos exigidos a partir do nível B

Resultados	Evidências a serem apresentadas
GPR 22. Os objetivos de qualidade e de desempenho do processo definido para o projeto são estabelecidos e mantidos	- A existência de objetivos quantitativos para o projeto relacionados aos atributos de desempenho do processo e do produto. - A revisão/atualização desses objetivos em função de mudanças no negócio, na organização, no desempenho ou no projeto?
GPR 23. O processo definido para o projeto que o possibilita atender seus objetivos de qualidade e de desempenho é composto com base em técnicas estatísticas e outras técnicas quantitativas.	- A composição do processo definido para o projeto a partir da seleção de subprocessos feita por meio de técnicas estatísticas e critérios predefinidos (dentre eles sua estabilidade histórica e sua capacidade)
GPR 24. Subprocessos e atributos críticos para avaliar o desempenho e que estão relacionados ao alcance dos objetivos de qualidade e de desempenho do processo do projeto são selecionados.	- Subprocessos do processo definido para o projeto selecionados para serem gerenciados quantitativamente; - A seleção destes subprocessos a partir de critérios definidos; - A indicação dos atributos de cada subprocesso que foi gerenciado estatisticamente;
GPR 25. Medidas e técnicas analíticas são selecionadas para serem utilizadas na gerência quantitativa.	- Medidas e técnicas analíticas selecionadas para a gerência quantitativa do projeto.
GPR 26. O desempenho dos subprocessos escolhidos para gerência quantitativa é monitorado usando técnicas estatísticas e outras técnicas quantitativas.	- A capacidade dos subprocessos escolhidos para gerência quantitativa; - A aplicação de técnicas analíticas na monitoração do desempenho dos subprocessos gerenciados quantitativamente com relação à capacidade de satisfazer os objetivos de qualidade e desempenho do projeto.
GPR 27. O projeto é gerenciado usando técnicas estatísticas e outras técnicas quantitativas para determinar se seus objetivos de qualidade e de desempenho do processo serão atingidos.	- A aplicação de técnicas estatísticas e outras técnicas quantitativas na monitoração do projeto com relação aos objetivos de qualidade para o produto e aos objetivos de desempenho dos subprocessos que estão sendo gerenciados quantitativamente.
GPR 28. Questões que afetam os objetivos de qualidade e de desempenho do processo do projeto são alvo de análise de causa raiz.	- Análise de causa raiz para as questões que afetam os objetivos de qualidade e de desempenho do processo do projeto.

O nível B do MR-MPS e o nível 4 do CMMI sugerem práticas de gerência quantitativa, que inclui a construção de modelos para prever o desempenho dos projetos. Práticas relacionadas ao controle estatístico de processos são recomendadas para caracterizar e prever o comportamento dos processos. O gráfico de controle proposto por SHEWHART (1931) é um dos principais instrumentos.

Modelos de maturidade, como o MR-MPS e o CMMI, são restritos a determinar os resultados que devem ser alcançados pelos processos de software para caracterizar seu nível de maturidade, mas não estabelece os meios pelos quais estes resultados podem ser alcançados. Por exemplo, na alta maturidade, a existência e o uso de modelos de desempenho

para apoiar a predição dos subprocessos críticos é um resultado que precisa ser apresentado. Porém, a técnica a ser utilizada para construção do modelo de desempenho, a definição de qual processo é considerado crítico para a organização e como o modelo deve ser utilizado na gerência dos projetos, não são determinados, embora seja necessário apresentar todos os procedimentos utilizados na elaboração desses.

A adoção de práticas da alta maturidade não é uma questão trivial. Por meio do relato de KITCHENHAM *et al.* (2007a) é possível observar o quão complexas são estas práticas. Os autores apresentam problemas que não foram percebidos quando uma das unidades da IBM, já avaliada no nível 5 do CMMI, construiu seus modelos de desempenho. Os equívocos cometidos durante as decisões relacionadas à análise dos dados só foram percebidos após a análise minuciosa de uma especialista.

No Brasil, observa-se o aumento no número de empresas que buscam a maturidade em seus processos por meio do uso do MR-MPS (SOFTEX, 2011), mas a concentração da maioria das empresas nacionais está ainda nos níveis iniciais de maturidade (TRAVASSOS e KALINOWSKI, 2012). Para modificar esta realidade e tornar o software nacional mais competitivo, é preciso realizar estudos com o propósito de auxiliar as empresas na adoção de práticas e instrumentos que apoiem o alcance da alta maturidade.

2.2. Gerência Quantitativa de Projetos de Software

Organizações que possuem alta maturidade na execução de seus processos utilizam abordagens quantitativas para aumentar a efetividade das decisões e conseqüentemente diminuir os riscos dos projetos. A Gerência Quantitativa é uma disciplina que se propõe a atender esse propósito (RENDER *et al.*, 2009), pois é baseada na coleta intensiva de medidas e no uso destas medidas para identificar e monitorar o comportamento dos processos para prevenir e tratar desvios e apoiar a tomada de decisão.

No CMMI a Gerência Quantitativa é encarada como um processo, o *Quantitative Project Management* (QPM) e está organizado em dois objetivos específicos e 5 práticas. No MR-MPS, a gerência quantitativa está distribuída em resultados de processos e em resultados de atributos de processos da alta maturidade. Um mapeamento completo entre os modelos MR-MPS e CMMI pode ser encontrado em (MELLO, 2011).

A plena adoção da Gerência Quantitativa implica a construção e uso de modelos de desempenho capazes de apoiar na predição e monitoração dos indicadores dos projetos (SOFTEX, 2011). Em geral, estes modelos são gerados a partir da base histórica de projetos das organizações.

STODDARD-II e GOLDENSON (2010) estabeleceram um conjunto de características desejáveis para modelos de desempenho que foram concebidas a partir de um entendimento holístico dos requisitos da alta maturidade na perspectiva do modelo CMMI e de treinamentos, experiências e práticas com a metodologia Six Sigma (BRUSSEE, 2004). As características são:

- i. O modelo é probabilístico, estatístico ou baseado em simulação;
- ii. O modelo prediz resultados intermediários e/ou finais do projeto;
- iii. O modelo utiliza indicadores controláveis que são diretamente associados à subprocessos ou atividades do projeto. Em outras palavras, o modelo deve ser interativo, de forma que seja possível avaliar se determinadas ações no projeto surtirão o efeito desejado aos resultados do projeto;
- iv. O modelo caracteriza quantitativamente a variação dos fatores de influência, a incerteza e o intervalo de variação dos indicadores de desempenho;
- v. O modelo permite análises do tipo "o que acontece se" para o planejamento do projeto, replanejamento dinâmico e a resolução de problemas durante a execução do projeto;
- vi. O modelo propaga efeitos entre atividades do processo;
- vii. O modelo provê informações que apoiam a correção do curso do projeto ao longo da execução para aumentar as chances de sucesso.

É importante ressaltar que estas características desejáveis para um modelo de desempenho ou os “ingredientes saudáveis”, como mencionado originalmente por STODDARD-II e GOLDENSON (2010), não possuem o propósito de servir como critério de julgamento durante a execução de processos de avaliação de níveis de maturidade, a exemplo do SCAMPI (SEI, 2006) ou MA-MPS (SOFTEX, 2012), mas sim orientar organizações que buscam a alta maturidade a construir modelos que sejam efetivamente úteis para gerenciar quantitativamente projetos de software.

Em (MAXWELL, 2002), há diversos exemplos no sentido de prover orientações aos gerentes de projeto de software de como construir modelos que apoiem o planejamento e controle de projetos de software. A autora explora diversos exemplos que culminam com a construção de modelos com o uso regressão linear. Na perspectiva da Gerência Quantitativa, considerando o conjunto características supracitado, os modelos descritos por MAXWELL (2002) são determinísticos (não atendem característica i), não predizem resultados intermediários do projeto (atendem parcialmente a característica ii), não caracterizam a variação dos indicadores de desempenho (característica iv), não permitem análises do tipo “o que acontece se” (característica v), não permitem a propagação de efeitos entre atividades do processo (característica vi) e não proveem subsídios para que correções sejam realizadas ao longo da execução do projeto (característica vii). Contudo, vale destacar que o fato de um modelo não atender a todas essas características não significa que eles não sejam úteis ao planejamento de projetos, mas que sua utilidade é limitada sob a ótica da Gerência Quantitativa.

Disponer de uma quantidade significativa de dados para gerar o modelo é um dos grandes obstáculos à Gerência Quantitativa. Por exemplo, para gerar um modelo de desempenho capaz de caracterizar o comportamento de um processo definido para um projeto, é preciso que este processo já tenha sido executado um número significativo de vezes¹. Mesmo que isto tenha acontecido, diferente da manufatura, os processos de software sofrem inúmeras influências ao longo de sua execução. Estas influências atuam em todas as etapas do processo causando variações. Ao final da execução de cada processo, mesmo que o objetivo, o ambiente e os executores não tenham sido alterados, os resultados obtidos irão divergir. E esta divergência dificulta a extração de modelos acurados.

Uma alternativa factível para tratar esta variação dos processos definidos de cada projeto, é tratá-los como entidades compostas por componentes de processo reutilizáveis (BARRETO *et al.*, 2008b; BARRETO *et al.*, 2009) ao invés de considerá-los estruturas monolíticas. Apesar de parecer apenas uma mudança conceitual, a componentização pode propiciar uma série de facilidades. Com relação à Gerência Quantitativa, permite um aumento

¹ Alguns autores sugerem um número mínimo de registros para construir um modelo com certo grau de acurácia. BENTLER (1987), por exemplo, indica uma razão de 5:1, ou seja, cada parâmetro do modelo requer pelo menos cinco registros de dados.

de volume da base histórica de execuções do componente, independente das alterações do processo que ocorreram em cada execução. Assim, mesmo um processo completamente novo, construído a partir dos componentes de processo pré-existentes na organização, pode ter seu comportamento analisado previamente por meio da concatenação dos comportamentos de cada componente de processo.

A avaliação prévia do planejamento do projeto com relação à capacidade de atender os objetivos e restrições do projeto requer o uso de instrumentos que facilitem tal atividade, especialmente se a organização busca a alta maturidade. A seção a seguir apresenta abordagens utilizadas durante o planejamento de projetos que se propõem a estimar o desempenho dos projetos com relação a um ou mais indicadores.

2.3. Análises e Estimativas em Prol do Desempenho dos Projetos

Esta seção descreve sucintamente algumas abordagens utilizadas no planejamento de projetos de software com o intuito de estimar o desempenho de projetos de software sob a ótica das características desejáveis para modelos de desempenho.

2.3.1. O uso de raciocínio baseado em casos

O raciocínio baseado em casos consiste no uso da experiência passada para resolver novos problemas (VASUDEVAN, 1994). O gerente de projeto, quando se depara com uma situação que requer decisão durante o planejamento de projetos, pode optar pela busca de casos similares na base histórica de projetos para avaliar as decisões tomadas e quais resultados foram obtidos. Esta análise fornece subsídios à tomada de decisão, principalmente quando o gerente do projeto é inexperiente.

Neste contexto, sob uma perspectiva da gerência quantitativa, YANG e WANG (2009) propõem um sistema de recomendação para apoiar a tomada de decisões durante o planejamento de projetos. O sistema provê informações sobre o planejamento de projetos similares contidos na base histórica de projetos. O mecanismo consiste em dois estágios: a recuperação de casos baseada em uma arquitetura de critérios hierárquicos e a mineração dos casos recuperados para prover informação útil ao planejamento. Por exemplo, dado um determinado cenário, o gerente de projeto informa os critérios para busca de casos. Para recuperar estes casos, é preciso que os projetos tenham sido armazenados seguindo uma forma hierarquizada de critérios. No primeiro estágio, o instrumento recupera os casos mais

ajustados aos critérios. Em seguida, em um segundo estágio, o gerente do projeto solicita um refinamento das informações e o instrumento fornece informações estatísticas relacionadas a atributos relevantes para o planejamento.

Vale destacar que a seleção de uma alternativa devido ao seu sucesso em um contexto similar não assegura o êxito da sua aplicação em um novo contexto. Para aumentar as chances de obter os resultados esperados, é preciso compreender quais fatores influenciam no sucesso ou fracasso da aplicação da alternativa selecionada. Neste aspecto, o instrumento não provê auxílio.

2.3.2. Modelos paramétricos

Modelos paramétricos são modelos obtidos a partir da aplicação de técnicas estatísticas onde a variável dependente é estimada com base nos valores e relacionamentos entre as variáveis independentes (SHERRIFF *et al.*, 2005).

Estes modelos são frequentemente utilizados para auxiliar a estimar prazos, custos e qualidade no desenvolvimento de software, nos vários estágios do ciclo de vida. Eles são caracterizados como modelos analíticos ou “caixa-preta”, pois não revelam os detalhes do processo à medida que apresentam os resultados (ZHANG, 2008). São exemplos de modelos paramétricos o COCOMO II² (BOEHM *et al.*, 2000), o STREW-J³ (NAGAPPAN *et al.*, 2005) e o STREW-H⁴ (SHERRIFF *et al.*, 2005).

A técnica mais comum para construção de modelos paramétricos é regressão linear (JØRGENSEN e SHEPPERD, 2007). De acordo com MENDES e MOSLEY (2006), dentre as vantagens do uso de regressão linear, estão a possibilidade de verificar como o modelo deriva suas conclusões e a determinação do grau de acurácia do modelo. Esta características são uteis principalmente quando há necessidade de adaptar ou calibrar os modelos para atender às especificidades locais do ambiente, tal como MENZIES *et al* (2005) e KITCHENHAM *et al.* (2007b) recomendam.

O uso de regressão linear, bem como outras técnicas de análise, requer cuidados (KITCHENHAM *et al.*, 2007a). A ausência de uma variável independente, por exemplo, quer

² Constructive Cost Model

³ the Software Testing Reliability Early Warning model for Java

⁴ Software Testing Reliability Early Warning model for Haskell

seja por não conhecimento da sua existência ou por não se possuírem dados que permitam considerá-la na regressão, pode implicar a construção de modelos não generalizáveis e imprecisos.

2.3.3. Julgamento do especialista

Há indícios de que, sob determinadas circunstâncias, o modelo cognitivo de um profissional experiente tem um desempenho superior a outros mecanismos que apoiam a análise de cenários. No âmbito da realização de estimativas de esforço de projetos de software, por exemplo, JØRGENSEN (2007) concluiu que o julgamento do especialista apresenta um desempenho melhor do que os modelos paramétricos.

O problema é que nem sempre a empresa pode contar com profissionais com experiência suficiente para realizar uma análise das alternativas. Além disso, quando o profissional deixa de pertencer ao quadro de profissionais da empresa o conhecimento requerido para este tipo de análise é perdido.

Pode-se afirmar que as decisões do gerente de projeto estão fundamentadas no seu modelo cognitivo ou modelo mental, que é utilizado para processar todas as informações e provê uma resposta que corresponde à alternativa mais provável para alcançar o objetivo desejado. Modelos mentais são individuais e correspondem ao conhecimento tácito. O uso dos modelos mentais dos especialistas pode ser utilizado para aumentar a qualidade da tomada de decisão e para apoiar o desenvolvimento do modelo mental dos não especialistas.

A capacidade dos seres humanos de estabelecer relações não lineares entre múltiplos fatores, aspecto inerente a sistemas complexos, é extremamente limitada (STERMAN, 1992). Segundo SENGE (1992, pág. 176, tradução nossa), “o problema dos modelos mentais não é se eles estão certos ou errados, pois modelos mentais, por definição, representam apenas uma fração simplificada do mundo real, o problema surge quando os modelos mentais são tácitos e oriundos de um baixo nível de consciência”. BESNARD *et al.* (2004), por exemplo, apresenta o “viés de confirmação”⁵ como um fenômeno psicológico que faz com que indivíduos assumam precipitadamente que seus modelos mentais são válidos, o que pode implicar sérias

5 O “viés de confirmação” (*confirmation bias*, em inglês) acontece quando dois fenômenos consecutivos ocorrem de acordo com a expectativa do indivíduo, e o mesmo, erroneamente, assume que o seu modelo mental é válido. Por exemplo, se um gerente de projeto acerta estimativas por duas vezes consecutivas, é possível que ele acredite ter encontrado a melhor maneira de estimar, mesmo que esta forma não tenha fundamento.

consequências. Reforçando esta opinião, GARY e WOOD (2005) apresentam resultados que sugerem que a habilidade do indivíduo e a complexidade das tarefas influenciam de forma significativa na acurácia do modelo mental.

Portanto, em um cenário que requer análises que envolvem a propagação de efeitos ao longo da execução do processo e ao mesmo tempo uma avaliação de uma infinidade de fatores que podem influenciar o projeto de diferentes formas, o julgamento do especialista por si só pode não ser suficiente.

2.3.4. Modelos probabilísticos

NEIL e FENTON (NEIL e FENTON, 1996) propuseram o uso de redes bayesianas (PEARL, 2000) para tentar estimar defeitos latentes de software, isto é, a quantidade de defeitos não capturados durante a etapa de testes e que está contida no produto entregue para o cliente. Um dos principais argumentos dos autores pelo uso de redes bayesianas é a possibilidade de levar em consideração diversos fatores implícitos na prevenção, detecção e complexidade de defeitos.

FENTON *et al.* (2004), após algumas experiências (FENTON e NEIL, 1999; FENTON *et al.*, 2002), propuseram um método que incorpora dados históricos da organização em redes bayesianas e permite a interpretação e complementação do modelo com o julgamento do especialista. O uso do método foi demonstrado no problema da alocação de recursos. Os autores também sugerem o uso de um software que permita “ocultar” a complexidade das redes bayesianas, de forma que o gerente manipule os parâmetros que deseja e observe o impacto das modificações nas variáveis de interesse. Vale ressaltar que não há como observar os efeitos das variáveis ao longo da execução do projeto, a cada etapa do processo.

PENDHARKAR *et al.* (2005) também utilizaram redes bayesianas para incorporar os riscos da tomada de decisão e compararam seus resultados com outros modelos preditivos de esforço disponíveis na literatura. Dentre as principais vantagens do uso de redes bayesianas defendidas pelos autores, citam-se: (i) a capacidade de prover dados relacionados à incerteza; (ii) a capacidade de tratar a ausência de dados; e (iii) a possibilidade de incorporar o conhecimento dos gerentes de projeto ao modelo.

2.3.5. Controle estatístico de processos de software

O controle estatístico de processos faz uso de séries temporais para prever o futuro. Modelos de séries temporais se propõem a prever o futuro pelo uso de dados históricos da variável sob análise, assumindo que o que acontecerá no futuro é função do que aconteceu no passado (RENDER *et al.*, 2009).

WHEELER e CHAMBERS (1992) afirmam que o comportamento do processo com relação à determinada característica de interesse pode ser representado por meio de um gráfico de controle (vide Figura 2-1). A premissa é que uma vez que o comportamento do processo aparente estabilidade, caso não aconteçam mudanças no contexto de sua execução, é esperado que a característica observada mantenha-se estável, isto é, dentro de limites computados a partir de sua evolução histórica.

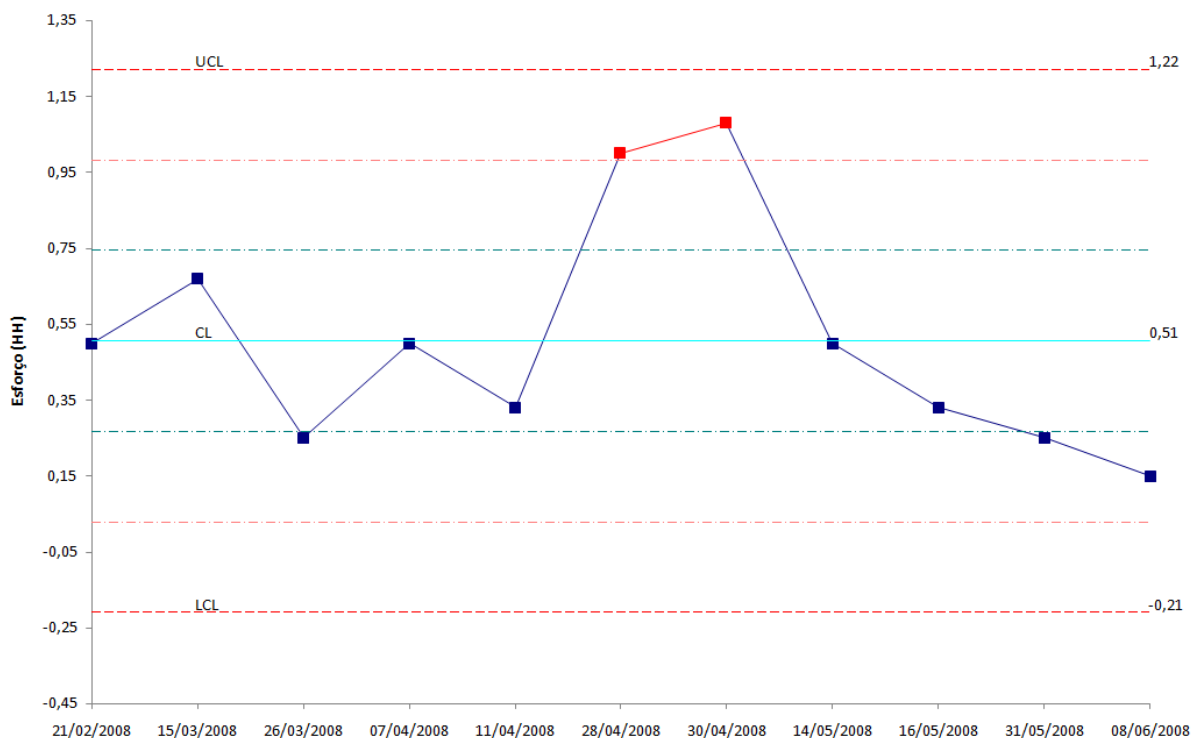


Figura 2-1. Comportamento do Processo Garantia da Qualidade do Processo e do Produto do LENS com relação ao esforço investido para avaliar o relatório de monitoração dos projetos no período de fevereiro a junho de 2008.

Para viabilizar a caracterização e análise do comportamento do processo com o uso do controle estatístico de forma a agregar valor para a organização, FLORAC e CARLETON (1999) sugerem a realização prévia de quatro atividades: (1) clarificar os objetivos de negócio; (2) identificar e priorizar questões relevantes para o alcance dos objetivos de negócio; (3) selecionar e definir medidas; e (4) coletar, verificar e armazenar os dados. Sem

estas atividades, a organização assume os riscos de caracterizar o comportamento de um processo com relação a aspectos não relacionados com seus objetivos de negócio, o que pode implicar o desperdício de recursos.

Outra premissa assumida para realizar uma caracterização adequada do comportamento do processo é a existência de um processo definido e institucionalizado na organização, que propicia um ambiente estruturado e disciplinado para o controle e melhoria do processo (FLORAC e CARLETON, 1999). Institucionalizá-lo significa prover os meios necessários para que a organização possa executá-lo sistematicamente, e isto inclui recursos, capacitação, ferramentas, infraestrutura e outros elementos que apoiam e sustentam a institucionalização do processo.

Em um ambiente onde a melhoria de processos é o objetivo, WHEELER e CHAMBERS (1992) afirmam que no estado ideal, o processo é controlado estatisticamente e os produtos resultantes apresentam alto índice de conformidade, ou seja, praticamente todos os produtos estão adequados ao propósito para os quais foram desenvolvidos. Em um ambiente de melhoria de processos, de um lado, a entropia influencia o processo para que ele tenda ou se mantenha fora de controle (estado de caos); por outro lado, a melhoria contínua do processo busca tratar as causas que influenciam a variação do processo e podem conduzi-lo ao estado ideal.

Segundo SHEWHART (1931), para que um processo esteja sob controle, as variações nas características de qualidade do produto devem ser previsíveis. O autor estabelece que estas variações decorrem de dois tipos de causas: causas comuns, que são sempre parte do processo, e causas especiais, que não são parte do processo e ocorrem sob determinadas circunstâncias.

LANTZY (1992) exemplifica a diferença entre causas especiais e causas comuns de variação em processos de software, tomando como exemplo a variação da produtividade de um programador. O autor descreve uma situação onde fica caracterizado que o esforço de desenvolvimento vem caindo ao longo da atividade de implementação e o gerente identifica que a razão da diminuição do esforço decorre do ganho na produtividade do programador. A produtividade do programador é afetada por uma variedade de causas que são comuns ao processo, tais como capacidade do programador, padrões de programação, linguagem, disponibilidade de máquinas e ferramentas. Ao mesmo tempo em que outras causas especiais

também podem afetar a produtividade do programador, por exemplo, surtos de gripe, baixa taxa de utilização do computador por conta de excessivas quedas de energia etc. A identificação da causa do decaimento da produtividade do programador deve determinar a ação da gerência em resposta à variação.

Processos que sofrem a influência de causas especiais de variação não produzem resultados previsíveis e, sob a ótica do controle estatístico de processos, são ditos “**fora de controle**”.

O êxito da utilização do Controle Estatístico de Processos (CEP) na manufatura estimulou o uso no âmbito dos processos de software. Entretanto, é importante observar as diferenças entre os processos da manufatura e os processos de software, que exige que sejam tomados cuidados especiais. LANTZY (1992) afirma que o alto grau de cognição embutido nas atividades de desenvolvimento de software influencia de forma significativa as variáveis que caracterizam o comportamento dos processos de software, o que os difere dos processos da manufatura. Conseqüentemente, a medição, o estabelecimento de limites de controle e a identificação de causas especiais de variação tornam-se mais difíceis e requerem soluções que são mais intuitivas do que científicas. Entretanto, segundo o autor, este aspecto não elimina a utilidade dos princípios de CEP, mas requer que sejam feitas modificações significativas na forma de implementação. Muitas das premissas aplicadas aos processos da manufatura podem não ser válidas para processos de desenvolvimento de software (RAFFO e KELLNER, 1999), dentre elas, o baixo volume de produção, a variabilidade associada à produção de produtos singulares, a variabilidade associada com o grau de habilidade e criatividade de cada colaborador, dentre outras. LEWIS (1999) alerta que CEP pode não ser aplicável em um contexto de produção de software onde há pouca disponibilidade de dados.

Reiterando estas visões, KOMURO (2006) afirma que a aplicação do CEP em processos de software é dificultada pelo fato do desenvolvimento de software ser uma atividade criativa e intensivamente humana, envolvendo múltiplas causas comuns; e pela dificuldade na obtenção de uma vasta e homogênea base de medidas para análise, principalmente aquelas que agregam valor ao negócio.

LANTZY (1992) sugere os seguintes passos para a aplicação do controle estatístico em processos de software: (i) negociar um conjunto priorizado de características de qualidade de software com o cliente; (ii) projetar, especificar e implementar um processo de software

capaz de produzir o produto de software desejado; (iii) designar os responsáveis pelo processo; (iv) estabelecer métricas para processos que estão correlacionadas às características de qualidade estabelecidas para o produto de software resultante; (v) elaborar gráficos de controle ou técnicas equivalentes para determinar a estabilidade de cada processo; (vi) estabelecer o controle dos processos pela eliminação das causas especiais de variação; (vii) melhorar o processo continuamente para mantê-lo dentro dos limites toleráveis de controle para que o produto final atenda aos requisitos dos clientes.

A Figura 2-2 ilustra o procedimento proposto por WHEELER e CHAMBERS (1992) para avaliar a estabilidade do processo pelo uso de gráficos de controle.

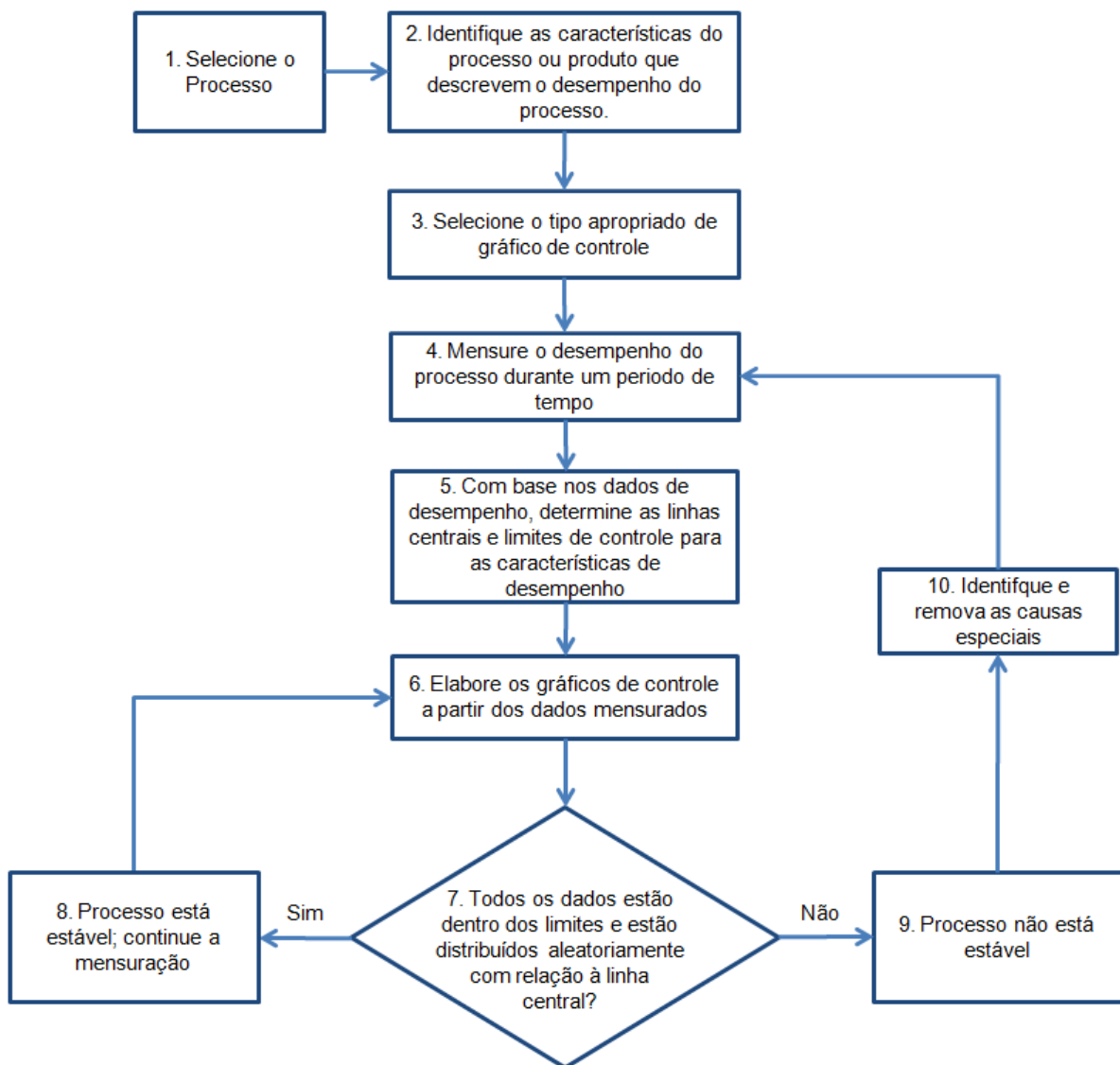


Figura 2-2. Passos para avaliar a estabilidade de um processo utilizando gráficos de controle (WHEELER e CHAMBERS, 1992).

Para apoiar a análise da estabilidade, podem-se aplicar testes que detectam sinais de comportamento não aleatório. Valores identificados além dos limites de controle e padrões não usuais identificados em gráficos de controle sugerem a existência de causas especiais de variação. A Figura 2-3 apresenta os testes que podem ser aplicados a partir do uso da ferramenta Minitab⁶. Esta ferramenta permite ajustar os testes tornando-os mais severos ou atenuando a avaliação. Por exemplo, caso queira considerar uma distância menor que 3 sigmas a partir da média, pode-se alterar a medida do primeiro parâmetro⁷.

WHEELER e CHAMBERS (1992) discorrem sobre cada um dos testes que podem ser aplicados e apontam os testes 1, 5, 6 e 8 como os mais efetivos (considerando a ordem em que são listados na Figura 2-3).

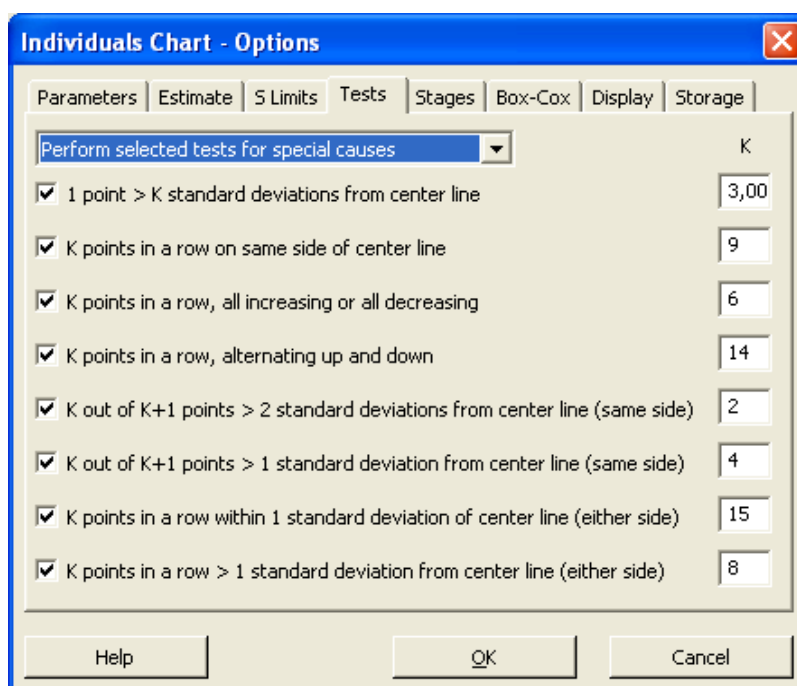


Figura 2-3. Testes para detecção de causas especiais disponíveis da ferramenta Minitab.

O controle estatístico de processo é aplicado a um indicador que representa uma característica chave do processo a ser controlado. Mesmo que haja mais de um indicador considerado relevante, a avaliação do estado de controle de cada um deles é feito

⁶ Minitab® Statistical Software, www.minitab.com

⁷ A escolha do três como medida para o primeiro parâmetro deve-se aos fundamentos da técnica Six-Sigma (BRUSSEE, 2004)

individualmente. Então, quando se constata variação no processo, o indicador apenas reflete esta variação e não indica quais os aspectos que influenciaram tal variação. Por esta razão, o uso do controle estatístico por si só não é suficiente para apoiar uma avaliação do desempenho futuro do projeto, visto que a execução de um projeto pode ser influenciada por inúmeros fatores (composição da equipe, a ocorrência de riscos etc.).

Outro conceito associado à estabilidade do processo é o conceito de capacidade. Um processo é dito capaz quando: (i) o processo é estável; (ii) sua variação não excede os limites de controle. Quanto menor a variabilidade do processo, maior sua capacidade. Portanto, ao fazer uso do conceito de capacidade para selecionar um subprocesso para compor o processo do projeto, espera-se que seja obtido um resultado que respeite a variabilidade do indicador do processo. Este conceito é amplamente adotado na indústria, em ambientes cuja qualidade dos produtos é controlada. Mas, no contexto da indústria de software, tendo em vista que o desenvolvimento de software é um processo sócio-técnico e, portanto, sujeito a influência de fatores de natureza não técnica, a suscetibilidade à variação é muito maior do que em ambientes intensamente mecanizados.

Diante deste cenário, organizações que buscam a alta maturidade precisam se valer de outros mecanismos capazes de antecipar uma possível variação dos indicadores utilizados para caracterizar o desempenho dos projetos.

2.3.6. Simulação

A construção de um modelo de simulação de processos de software deve ser considerada como alternativa para apoiar a tomada de decisão quando a complexidade do cenário envolve (KELLNER *et al.*, 1999): (i) incertezas; (ii) comportamento dinâmico; e/ou (iii) ciclos de retorno.

A simulação de processos de software tem sido aplicada a uma grande variedade de cenários (ZHANG *et al.*, 2008b). RAFFO (1996) apresenta um exemplo onde potenciais mudanças no processo são quantitativamente avaliadas através de uma abordagem de simulação estocástica, antes de comprometer recursos e esforço para a implantação das mudanças. Além de tentar prever o impacto da mudança realizada nos processos, esta proposta visa apoiar a priorização de ações de melhoria e avaliar o desempenho do modelo de processo atual com relação ao modelo planejado. PSAROUDAKIS e EBERHARDT (2009) e

PARK e BAE (2011) também utilizam simulação para avaliar o impacto das mudanças em processos dos projetos de software.

PFAHL e LEBSANFT (2000b) utilizam simulação no processo de engenharia de requisitos para analisar qual o esforço financeiro necessário para estabilizar e alcançar o ponto “ótimo” do processo, isto é, a partir de que ponto o investimento no processo não provê benefícios que compensem o custo. HÖST *et al.* (2001) também utilizam a simulação de um processo de engenharia de requisitos para observar as condições de sobrecarga e identificar mudanças que possam remover os gargalos do processo.

BARROS (2001) propôs o uso de cenários como forma de representar o conhecimento sobre projetos de software. Com a simulação destes cenários, os gerentes de projeto podem determinar o impacto de suas incertezas sobre os seus projetos. O autor apontou a captura e a forma de representar o conhecimento sob a forma de cenários como principal dificuldade para o uso da abordagem. Além disso, a impossibilidade de simular mais de um modelo de impacto de risco por vez também foi citada como uma das limitações da abordagem.

RAFFO e SETAMANIT (2003), DONZELLI (2006) e outros autores, defendem o uso de simulação para apoiar a tomada de decisão em projetos de software. A simulação de processos de software é indicada para a tomada de decisão devido ao fato de os modelos serem classificados como “estruturais”, isto é, por possibilitarem a observação das interações entre os elementos ao gerar os resultados à medida que o modelo é executado (ZHANG, 2008).

Resultados positivos obtidos por meio de um modelo de simulação não são garantia de que a alternativa apresente um resultado similar no processo real, pois o modelo pode não conter uma ou mais relações importantes que deveriam ter sido consideradas para dar maior precisão ao resultado (NEU e BECKER-KORNSTAEDT, 2003). A acurácia das predições pode estar atrelada ao esforço requerido para a construção dos modelos de simulação e ao nível de conhecimento em técnicas de simulação e no domínio do problema que está sendo modelado (MÜLLER e PFAHL, 2008; ZHANG *et al.*, 2008a; ZHANG *et al.*, 2011).

2.3.7. Combinação de abordagens

Há diversas propostas que combinam abordagens para apoiar o planejamento de projetos, como por exemplo, o uso de assistentes inteligentes (WU e SIMMONS, 2000),

abordagens baseadas em otimização para seleção do planejamento dos recursos humanos do projeto (BARRETO *et al.*, 2008a), utilização de metaheurísticas para tratar da alocação em projetos de software (CHICANO *et al.*, 2011) e utilização de técnicas de otimização coevolucionária para montagem da equipe e alocação às atividades do projeto (REN *et al.*, 2011).

Abordagens baseadas em sistemas especialistas também figuram como opção, porém, requerem muita experiência para desenvolver regras que sejam universalmente aplicáveis. Além disso, estas regras podem se tornar obsoletas rapidamente (VASUDEVAN, 1994).

2.4. Caracterização das abordagens

Esta seção realiza uma caracterização dos tipos de abordagens apresentadas com relação às características desejáveis para modelos de desempenho. O intuito desta análise é indicar quais tipos de abordagens poderiam apoiar de forma mais ampla a adoção de práticas da Gerência Quantitativa.

A Tabela 2-2 apresenta a caracterização dos tipos abordagens mencionadas neste capítulo com relação às características desejáveis para modelos de desempenho (STODDARD-II e GOLDENSON, 2010). É importante ressaltar que a caracterização realizada não observa a aplicação de uma abordagem específica, que pode ter sido concebida para atender a um número maior de critérios. Por exemplo, YANG e WANG (2009) que utilizam o Raciocínio Baseado em Casos (RBC) para apoiar o planejamento de projetos, fazem uso de técnicas estatísticas para indicar os atributos relevantes para o projeto, entretanto a aplicação destas técnicas foi uma adaptação realizada pelos autores. Estas adaptações não foram consideradas na caracterização de cada tipo de abordagem.

A caracterização indica se o tipo de abordagem apresenta a característica integralmente, parcialmente ou se não apresenta a característica. Por exemplo, modelos paramétricos proveem resultados para os indicadores finais do projeto; com o uso do mesmo modelo não se consegue obter resultados intermediários, salvo quando realizadas adaptações específicas para que isso seja possível.

Tabela 2-2. Características de tipos de instrumentos úteis ao planejamento na perspectiva da Gerência Quantitativa

		Raciocínio Baseado em Casos	Modelos Paramétricos	Julgamento do Especialista	Modelos Probabilísticos	Controle Estatístico	Simulação
(i)	Probabilístico, estatístico ou baseado em simulação	N	T	N	T	T	T
(ii)	Prediz resultados intermediários e finais do projeto	N	P	N	P	P	T
(iii)	Utiliza indicadores controláveis (interativo)	N	P	N	T	N	T
(iv)	Quantifica a incerteza e o intervalo de variação dos indicadores	N	N	N	T	P	T
(v)	Permite análises do tipo “o que acontece se”	N	P	N	T	N	T
(vi)	Propaga os efeitos entre atividades do processo	N	N	N	N	N	T
(vii)	Provê informações que apoiam a correção do curso do projeto	N	P	N	P	P	T

Legenda: N: não apresenta; P: apresenta a característica parcialmente; T: apresenta a característica totalmente.

2.5. Considerações Finais

O desempenho de um projeto de software pode ser avaliado de diversas formas. Indicadores de desempenho amplamente utilizados na disciplina Gerência de Projetos, como o *Cost Performance Index* (Índice de Desempenho de Custo), *Schedule Performance Index* (Índice de Desempenho de Prazo) e *Critical Ratio* (Razão Crítica), são considerados úteis para monitorar o desempenho do projeto com relação ao que foi planejado (CAMPOS, 2009). Além de depender da acurácia das estimativas, há casos em que estes indicadores não são capazes de indicar violações nas restrições impostas pelo projeto.

O gerente de projeto pode dispor de uma grande quantidade de instrumentos que se propõem a apoiar a realização de estimativas de projetos de software. Entretanto, apenas a simulação provê recursos que permitem o tomador de decisão analisar quantitativamente diversas alternativas para o mesmo projeto, ao mesmo tempo em que é possível observar a propagação dos efeitos de cada alternativa ao longo de cada etapa do projeto e o reflexo destes efeitos em mais de uma dimensão de desempenho do projeto. Diferente dos modelos analíticos, a simulação não oferece apenas estimativas sobre determinadas variáveis, mas

também pode oferecer uma estimativa da incerteza a respeito dos valores que as variáveis podem assumir (MÜLLER e PFAHL, 2008).

Na prática, o tempo destinado à tomada de decisões durante o planejamento de projetos de software é escasso. O investimento (em esforço) necessário para a tomada de decisão deve compensar o efeito de tomar uma decisão errada. Neste sentido, ao mesmo tempo que o uso de simulação aparenta ser o mais indicado, a construção e execução de modelos de simulação apresenta-se como obstáculo, por requerer conhecimento no domínio de Engenharia de Software, conhecimento em técnicas simulação e o uso de ferramentas apropriadas (MÜLLER e PFAHL, 2008; ZHANG *et al.*, 2008a).

O próximo capítulo apresenta abordagens que orientam a construção de modelos de simulação e descreve as principais dificuldades para a construção de tais modelos.

Capítulo 3. A Construção de Modelos para Simulação de Processos de Software

Este capítulo apresenta propostas para a construção de modelos de simulação de processos de software e as características que distinguem os principais tipos de técnicas de simulação e as técnicas de simulação mais utilizadas. O capítulo também contém uma sucinta descrição de um processo geral de modelagem de simulação, discorre sobre as principais propostas existentes e destaca os aspectos relevantes associados a cada passo do processo de construção. Concluído o capítulo, são citados os principais obstáculos à disseminação da simulação na indústria de software e quais propostas têm tratado estas questões.

3.1. Introdução

A sofisticação de ferramentas e o reuso de padrões para soluções de problemas têm contribuído de forma significativa para redução do esforço necessário para construir modelos de simulação em processos de software (RAFFO e WAKELAND, 2007). A redução do esforço e a acurácia das predições resultantes pode estar atrelada ao nível de conhecimento em técnicas de simulação e no domínio do problema que está sendo modelado (MÜLLER e PFAHL, 2008; ZHANG *et al.*, 2008a).

Em domínios de conhecimento onde há grandes volumes de dados e a operação do processo se dá por meio de máquinas, também há uma dificuldade para construir modelos capazes de representar uma visão sistêmica sobre a execução do processo. Na opinião de HERNANDEZ-MATIAS *et al.* (2006), técnicas de modelagem de sistemas são confinadas em companhias e consultorias tecnológicas ou multinacionais. Segundo os autores, a razão para o uso incipiente destas técnicas reside no alto custo, esforço e tempo requeridos, na complexidade dos sistemas e na necessidade de se deter profundo conhecimento em reengenharia e no domínio sendo investigado.

KELLNER *et al.* (1999) defendem que a construção de um modelo de simulação de processos de software deve considerar três questões fundamentais: “por que simular?”, “o que

simular?” e “como simular?”. Os autores acreditam que a motivação para simulação reside na necessidade de apoiar a tomada de decisão, apoiar a redução de riscos e auxiliar a gerência nos níveis operacional, tático e estratégico. Com relação à determinação do que simular, esta decisão dependerá do propósito do modelo e de quais questões serão investigadas e deve considerar os seguintes aspectos: escopo do modelo, variáveis de resposta (esforço, custo, defeitos, custo/benefício, desempenho/productividade, dentre outras), abstração do processo e parâmetros de entrada. Os autores defendem que a determinação do escopo do modelo é uma decisão que deve ser tomada levando em conta o que se deseja manipular, a amplitude dos potenciais efeitos da manipulação e como os resultados da manipulação devem ou podem ser observados. Em geral, o escopo está restrito a uma parte do ciclo de vida, a um projeto de desenvolvimento, à evolução de longo prazo de um produto ou às questões de longo prazo em uma organização. Para cada escopo é preciso considerar duas dimensões: intervalo de tempo e amplitude organizacional (menos de um projeto ou equipe, um projeto/equipe, múltiplos projetos/equipes). A abstração do processo requer a identificação de todos os seus elementos (atividades, artefatos, ferramentas, técnicas, métricas associadas e o próprio processo) e como eles interagem entre si. Os parâmetros de entrada podem ser inúmeros, alguns podem ser tratados como constantes e outros como variáveis que alteram com o passar do tempo. Também é importante estabelecer as relações entre eles e inseri-las no modelo.

A Figura 3-1 ilustra a interação entre os aspectos relacionados às questões “por quê?” e “o que?” simular.

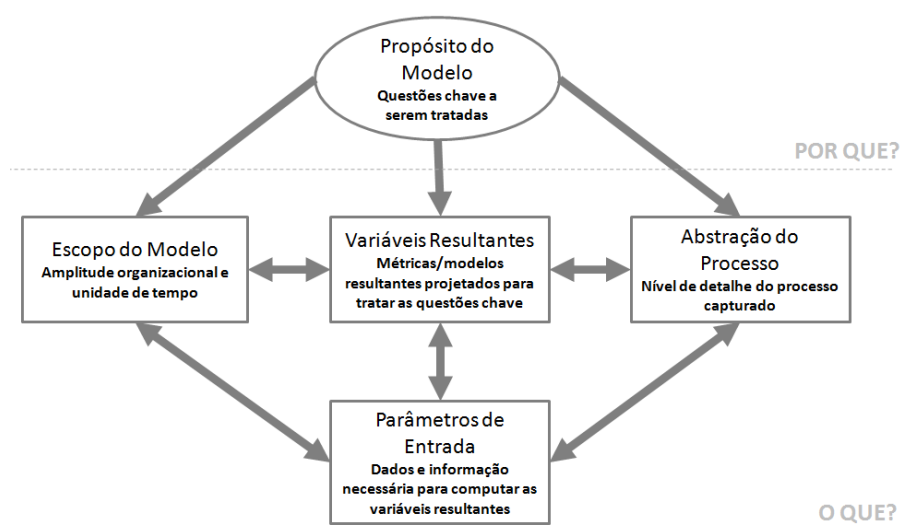


Figura 3-1. Relacionamento entre "por quê?" e "o que?" simular (KELLNER *et al.*, 1999)

Abordagens, linguagens e técnicas de simulação, bem como questões relacionadas aos dados a serem utilizados, são aspectos que precisam ser considerados na definição do como simular. Para KELLNER *et al.* (1999), a abordagem mais apropriada é aquela que se adéqua ao propósito, ao escopo, às questões e às variáveis resultantes de interesse. É possível utilizar abordagens baseadas em estados, modelos de simulação de eventos discretos, dinâmica de sistemas, dentre outras possibilidades.

Este capítulo apresenta classificações para modelos de simulação de processos de software e discorre sobre abordagens que orientam a construção de modelos de simulação de processos de software. Também relaciona os requisitos necessários para aplicação de cada abordagem e conclui relacionando avanços recentes na área de simulação de processos de software.

3.2. Classificação

PFAHL (2001) identifica três critérios que podem ser utilizados para caracterizar diferentes tipos de modelos de simulação de processos de software:

- Quanto ao poder explanatório (caixa branca ou caixa preta), que se refere à capacidade de visualizar a propagação dos efeitos da interação entre os diversos elementos do processo simulado. O modelo caixa preta encapsula os relacionamentos entre as variáveis e o resultado da simulação pode ser observado através de indicadores globais para o processo. O modelo caixa branca permite visualizar a propagação dos efeitos do processo simulado em cada parte que compõe o processo;
- Quanto ao modo (estático ou dinâmico), que define a capacidade de capturar e representar mudanças ao longo do tempo do mundo real. Modelos estáticos apresentam as características essenciais do processo em determinado ponto do tempo e modelos dinâmicos apresentam como estas características evoluem à medida que o tempo passa; e
- Quanto à escala (qualitativo e quantitativo), que depende da escala das variáveis que compõem o modelo. Pfahl considera que modelos qualitativos utilizam variáveis nominais e modelos quantitativos são constituídos por variáveis de escala ordinal, intervalar ou racional.

Com relação à escala, ZHANG e KITCHENHAM (2006), consideraram a escala “semi-quantitativa” para tratar a imprecisão do conhecimento e a escassez de dados quantitativos.

BARROS (2001) classifica os modelos de simulação quanto ao comportamento e quanto à representação da incerteza. A caracterização do comportamento de Barros é similar à classificação de modo proposta por PFAHL (2001), porém Barros acrescenta uma distinção entre modelos dinâmicos, que podem ser discretos ou contínuos. Nos modelos discretos, a mudança de estados ocorre por meio de eventos; nos modelos contínuos as mudanças de estado ocorrem em intervalos de tempo constantes, previamente definidos. Com relação à representação da incerteza, Barros caracteriza os modelos em determinísticos e estocásticos. Os determinísticos não permitem expressar incerteza e resultam em um mesmo valor para um determinado conjunto de entrada. Os estocásticos, em função da representação da incerteza, não proveem garantias quanto à reprodução dos mesmos resultados para um mesmo conjunto de entrada.

Crê-se que as reflexões que precedem a construção de modelos de simulação circundam em torno das respostas do “por quê?” e “o que?” simular, tal como descrito por KELLNER *et al.* (KELLNER *et al.*, 1999). Porém, quando se trata da modelagem da simulação (o “como?”), não há consenso sobre como caracterizar a abordagem utilizada. Em (KELLNER *et al.*, 1999; RAFFO, 1999; RAFFO e VANDEVILLE, 2006), por exemplo, a simulação de eventos discretos e a dinâmica de sistemas são tratadas como paradigmas de simulação. Em (ZHANG *et al.*, 2007), a simulação de eventos discretos e a dinâmica de sistemas são tratadas ora como técnicas de simulação ora como paradigmas. Já em (RAFFO e WAKELAND, 2007) os termos metodologia, técnica e paradigma são utilizados para fazer referência a estas abordagens. Outros autores, a exemplo de MÜLLER e PFAHL (2008), tratam a simulação de eventos discretos e a dinâmica de sistemas como técnicas de simulação. A partir deste ponto, o termo técnica de simulação será utilizado para fazer referência a estas abordagens.

A Tabela 3-1 ilustra diferenças entre os tipos de técnicas de simulação mais utilizadas para construir modelos de simulação (MÜLLER e PFAHL, 2008).

Tabela 3-1. Tipos de técnicas de simulação e principais diferenças. Adaptado de (MÜLLER e PFAHL, 2008).

Tipos de Técnicas	Características Chave
Simulação Probabilística (Estocástica) X Simulação Determinística	Na simulação probabilística os resultados dos valores dos parâmetros ou variáveis internas do modelo podem variar, dependendo da variação estocástica dos valores dos parâmetros de entrada ou das variáveis intermediárias do modelo. No caso da simulação determinística, para um dado conjunto de valores dos parâmetros de entrada, o resultado do valor resultante será sempre o mesmo.
Simulação Estática X Simulação Dinâmica	A simulação estática captura a variação dos parâmetros do modelo em um determinado momento no tempo, enquanto simulação dinâmica captura o comportamento dos parâmetros do modelo durante um período de tempo específico.
Simulação Contínua X Simulação de Eventos Discretos	Simulação dinâmica pode ser contínua ou orientada a eventos. A diferença é que na simulação contínua os valores das variáveis do modelo são atualizados em intervalos de tempo equidistantes (a cada segundo, a cada minuto, a cada hora etc.), enquanto na simulação orientada a eventos os valores das variáveis do modelo são alterados a partir da ocorrência de um novo evento.
Simulação Quantitativa X Simulação Qualitativa	Simulação quantitativa requer que os valores dos parâmetros do modelo sejam especificados como números reais e requer a existência de dados em quantidade e qualidade suficiente. A simulação qualitativa não requer informação numérica e é útil para entender padrões gerais dos sistemas dinâmicos ou quando conclusões devem ser obtidas a partir de dados insuficientes.
Simulação Híbrida	Combina simulação contínua com orientada a eventos ou simulação contínua com elementos estocásticos e permite combinar as vantagens de cada uma das técnicas. Entretanto, os modelos resultantes tendem a ser mais complexos.

Segundo ZHANG *et al.* (2008a), as duas técnicas de simulação mais populares aplicadas a processos de software são Dinâmica de Sistemas (49%) e simulação de eventos discretos (31%). A Tabela 3-2 apresenta as principais diferenças entre estas técnicas.

Outro aspecto que distingue a simulação de eventos discretos e a dinâmica de sistemas está na capacidade de representar os ciclos de retorno. RAFFO e VANDERVILLE (2006) explicam que na simulação de eventos discretos os parâmetros para o modelo são definidos no início da execução do modelo e não são modificados pelos ciclos de retorno ao longo do processo. Na dinâmica de sistemas, os parâmetros podem ser modificados a cada ciclo de retorno.

Tabela 3-2. Dinâmica de sistemas e simulação de eventos discretos (RAFFO e WAKELAND, 2007).

	Dinâmica de Sistemas	Simulação de eventos discretos
Propósito Típico	Investigação de estratégias: construção de políticas, aumento do entendimento.	Investigar decisões: comparação, predição e otimização.
Elementos e/ou símbolos do modelo	Poucos elementos básicos: fluxos, estoques e conectores.	Muitos elementos básicos: itens, atividades, filas, atributos, recursos, roteamento e geradores.
Escopo organizacional	Enfoque estratégico.	Enfoque tático e operacional, tipicamente.
Quantidade de detalhe representada	Baixa, a informação com alto nível de agregação.	Alta, muitas entidades e considerável nível de detalhes do processo.
Estrutura Analítica de Trabalho	Apoio parcial devido à agregação de informações.	Artefatos e atividades são representados como entidades únicas.
Vantagens	O <i>feedback</i> contínuo pode ser modelado; Equações de simulação legíveis; Poucos elementos no modelo; Requer menos dados que modelos de simulação de eventos discretos.	Podem representar entidades ou itens específicos; Fácil de modularizar; Ferramentas permitem a visualização do fluxo do processo e animações.
Desvantagens	Dificuldades para representar itens únicos e a descrição do processo não é clara.	A computação interna não é transparente e há muitos elementos do modelo para entender.

3.3. Abordagens para Construção

MARIA (1997) afirma que a construção do modelo é a parte mais importante de um estudo de simulação e o estudo da simulação é tão bom quanto for o modelo de simulação. A autora cita um conjunto de aspectos que devem ser observados para minimizar os riscos associados com a realização de estudos de simulação, dentre eles: definição inadequada dos objetivos da simulação, o uso de simulação quando uma solução analítica é factível e mais apropriada, a validade do modelo, a construção de modelos de simulação muito complexos ou demasiadamente simples, os fundamentos (hipóteses/premissas) equivocados, as hipóteses não documentadas, os equívocos na seleção das distribuições de probabilidade para as variáveis de entrada, os equívocos na seleção das medidas de desempenho para o modelo, as falhas em softwares de simulação, o uso de fórmulas estatísticas que assumem que as variáveis independentes não são correlacionadas, o viés na entrada de dados, dentre outros.

Segundo CHEN e FROTJORD (2006), dentre as características que podem levar à má compreensão do comportamento de um sistema complexo estão os ciclos de realimentação, atrasos e a existência de não-linearidades. Ciclos de retorno não são explícitos e podem, inclusive, não pertencer por completo ao sistema que se observa. O problema aumenta quando a origem do ciclo de realimentação ocorre a certa distância, em termos de tempo, do evento

que se observa. O efeito do atraso só é perceptível quando a execução de determinada ação com intervalos de tempo diferentes implica resultados distintos. As não-linearidades estão relacionadas à ideia de que a mesma ação nem sempre leva à mesma consequência.

No contexto da definição das variáveis de entrada, RAFFO e KELLNER (2000) advogam que os desafios para construir modelos de simulação de processos de software incluem a **existência de pequenas amostras de dados**, uma considerável variabilidade da execução do processo, a existência de *outliers*, a ausência de dados importantes e a perda relacionada à má definição das métricas.

Devido à inexistência de fontes de evidências em Engenharia de Software que sejam úteis à identificação dos conceitos a serem representados nos modelos de simulação e como estes conceitos se relacionam, pesquisadores têm aplicado uma das seguintes alternativas: (i) uso de revisões da literatura para identificar potenciais relacionamentos entre as variáveis (características) do contexto de execução do processo (ABDEL-HAMID e MADNICK, 1991); (ii) investigações nas bases de dados na indústria, tal como em (DONZELLI e IAZEOLLA, 2001; CHOI e BAE, 2009); (iii) uso de modelos de simulação preexistentes (RUIZ *et al.*, 2001); (iv) uso da experiência dos especialistas no domínio, como feito em (PFAHL e LEBSANFT, 2000b) e (FEATHER *et al.*, 2008); (v) extração de relacionamentos a partir da base de medidas da própria organização (RAFFO *et al.*, 2007); ou (vi) aplicação de uma combinação das alternativas anteriores, como em (RAFFO e SETAMANIT, 2003; DICKMANN *et al.*, 2007).

Diante destes obstáculos, para aumentar as chances de produzir um modelo útil, é indicado seguir uma sistemática adequada para construção do modelo. Segundo MÜLLER e PFAHL (2008), qualquer processo de simulação de processos consiste em, ao menos, cinco passos, ilustrados na Figura 3-2: (i) declaração do problema, que define o objetivo da modelagem e auxilia a determinar o foco das atividades de modelagem; (ii) especificação do comportamento de referência, que captura a variação dinâmica das entidades no mundo real, isto é, o comportamento das entidades no decorrer do tempo, e pode caracterizar um comportamento problemático observado e/ou um comportamento desejável; (iii) identificação dos conceitos do modelo, que é uma abstração que contém um conjunto de regras e representa o conhecimento implícito e o conhecimento tácito dos especialistas; (iv) implementação do modelo executável, que consiste na transformação de todas as informações, conhecimento e

experiência representadas no modelo conceitual sob a forma de uma linguagem computacional em uma ferramenta de simulação; (v) experimentação do modelo, que visa validar o modelo e realizar os ajustes necessários com base nas estimativas dos especialistas ou a partir dos dados históricos e, em seguida, executar o modelo para estudar o comportamento do sistema modelado. A construção do modelo de simulação propriamente dito acontece durante a execução dos passos (ii), (iii) e (iv).

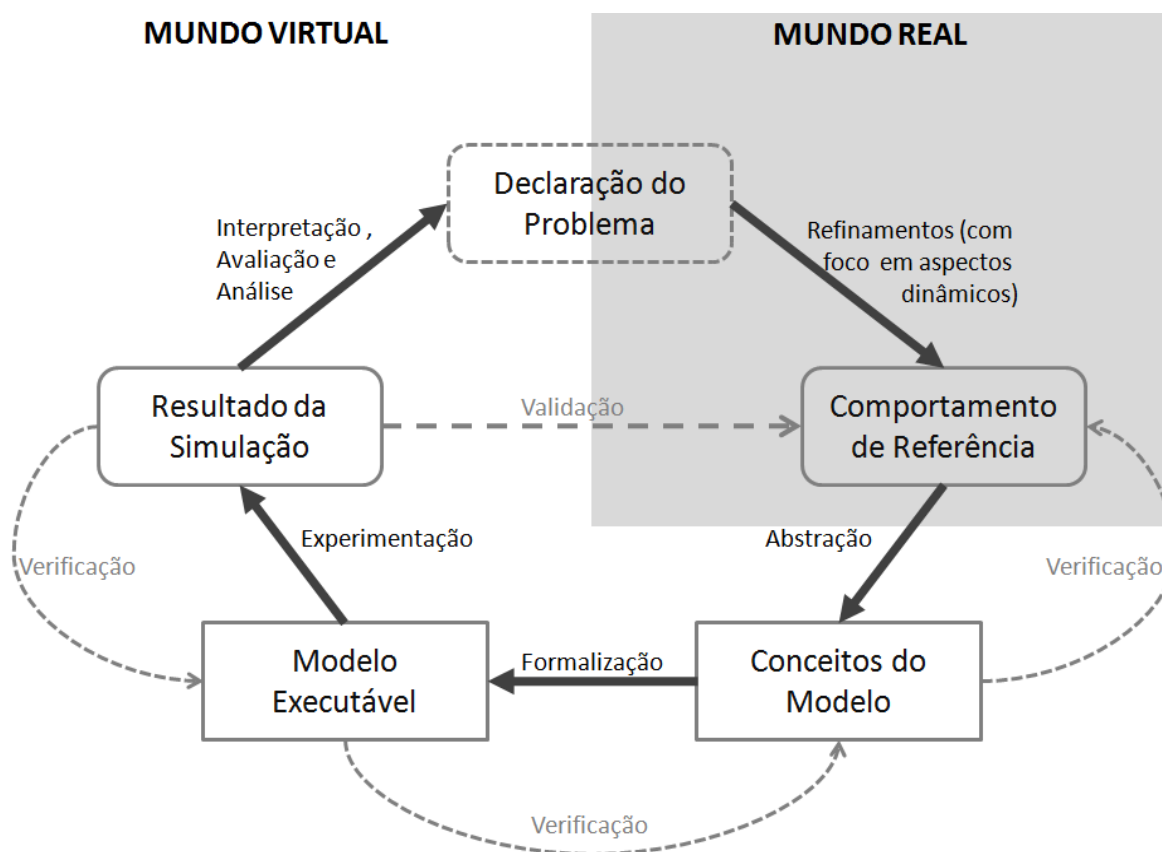


Figura 3-2. Processo Iterativo de Modelagem da Simulação (MÜLLER e PFAHL, 2008)

Motivados pela ausência de guias que apoiem a seleção da técnica mais adequada à construção de modelos de simulação, ZHANG *et al.* (2007) sugerem que as organizações utilizem técnicas específicas para simulação de acordo com o nível de maturidade que elas possuem (Figura 3-3). Para os autores, simulações com modelos híbridos (contínuos e de eventos discretos), por exemplo, são recomendadas apenas para organizações que possuem o nível 4 ou 5 do CMMI⁸. O principal argumento é que em organizações com níveis menores de maturidade, os dados utilizados podem refletir potenciais inconsistências dos processos e da

⁸ No MR-MPS, nos níveis A e B.

definição das medidas. Nestes casos, o uso de técnicas de simulação que exigem menor precisão e qualidade nos dados utilizados para a construção dos modelos, como a simulação qualitativa (ZHANG *et al.*, 2006) e semi-quantitativa (ZHANG e KITCHENHAM, 2006), parece ser apropriado. Porém esbarram na ausência de ferramental específico para prover apoio a este tipo de simulação (ZHANG, 2008).

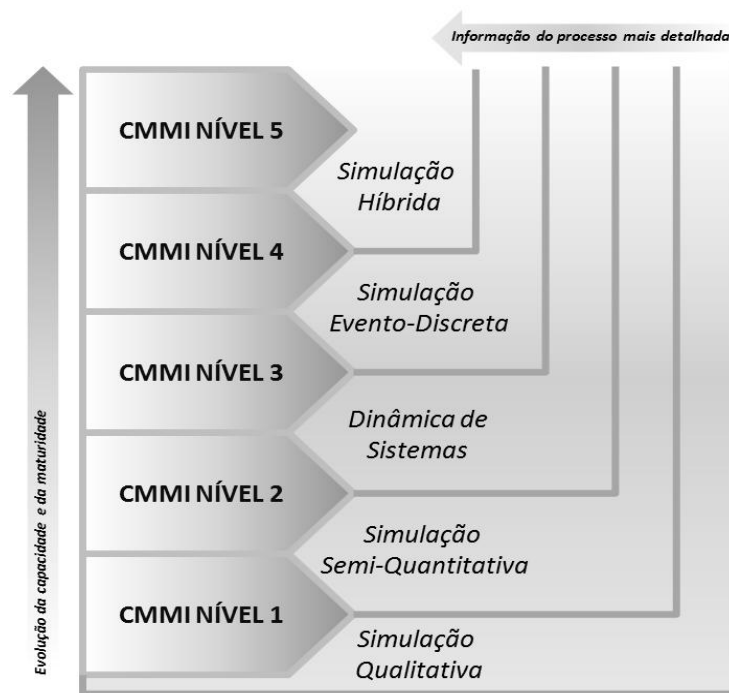


Figura 3-3. Arcabouço para adoção da simulação em organizações CMMI (ZHANG *et al.*, 2007)

No amplo domínio da simulação de processos de software, há diversas abordagens que podem ser aplicadas à construção de modelos. Em REIS *et al.* (1999), o comportamento do modelo de simulação baseado em conhecimento é obtido a partir do processo definido para os projetos que é instanciado dos meta-modelos de processo. Nesta mesma linha, PFAHL e RUHE (2002) definiram uma metodologia para a construção de modelos de simulação integrando os modelos de processo aos procedimentos de medição. RAFFO e SETAMANIT (2003) também usufruíram desta integração no contexto da simulação de eventos discretos.

Nas seções a seguir, são apresentadas algumas abordagens para construção de modelos de simulação que foram identificadas na literatura e que possuem detalhes sobre como utilizá-las.

3.3.1. IMMoS

IMMoS - *Integrated Measurement, Modelling, and Simulation* (Simulação, Modelagem e Medição Integradas, em tradução livre) se propõe a melhorar a construção de modelos de simulação de processos de software com a técnica dinâmica de sistemas (PFAHL e LEBSANFT, 1999; PFAHL, 2001).

Contém um processo para apoiar o desenvolvimento de modelos de simulação e possui elementos que apoiam a definição de objetivos para o desenvolvimento do modelo. Também provê uma integração entre modelos de dinâmica de sistemas e modelos estáticos e aprimoram a capacidade de análise pela integração de modelos quantitativos com modelos de processos de software.

O processo que serve de guia para o desenvolvimento do modelo de simulação descreve cada atividade em detalhes e é dividido em quatro fases (Figura 3-4): Fase 0 – Pré-estudo, Fase 1 – Desenvolvimento inicial do modelo, Fase 2 – Aperfeiçoamento do modelo e Fase 3 – Aplicação do modelo e manutenção.

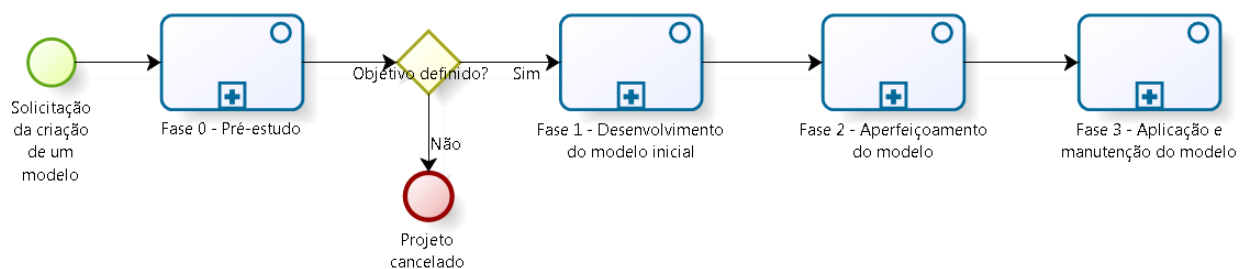


Figura 3-4. Fases do processo do IMMoS utilizando a notação BPM (OMG, 2008). Adaptado de (PFAHL, 2001)

Na primeira fase do processo (Fase 0), o primeiro contato entre o representante da organização e o especialista no desenvolvimento de modelos é estabelecido. Neste contato, é definido o escopo e o propósito do desenvolvimento do modelo. Em seguida, o especialista na construção de modelos inicia um levantamento para identificar problemas e questões a serem tratadas pelo modelo e outras informações relevantes, como o tamanho dos projetos, os produtos de trabalho e os potenciais usuários do modelo. De posse de todas as informações, o especialista se reúne com os potenciais usuários e demais interessados para apresentar os princípios da dinâmica de sistemas e os tipos de problemas que o modelo resultante poderá auxiliar a tratar. No passo seguinte, ocorre a identificação e obtenção do comprometimento com todos os usuários que irão participar da iniciativa. Em conjunto com os demais usuários,

o especialista na construção do modelo define formalmente o problema a ser tratado e realiza uma análise de viabilidade técnica. Caso não seja viável, o projeto é cancelado, do contrário, um planejamento para a execução do projeto de construção do modelo é elaborado e um contrato entre a organização e o especialista é firmado.

A segunda fase (Fase 1) é iniciada com uma reunião técnica com os usuários do modelo e demais especialistas em Engenharia de Software da organização. Eles são informados sobre os objetivos da modelagem, sobre todas as etapas a serem realizadas e sobre o plano do projeto de modelagem. A partir de então o trabalho de construção do modelo é iniciado com a definição das hipóteses dinâmicas, que servem de base para investigação da dinâmica das causas potenciais do problema a ser tratado e requer a descrição dos elementos relevantes a partir dos modelos mentais dos usuários que conhecem o domínio. Como produto de trabalho desta tarefa, é elaborada uma especificação do modelo de referência⁹ e são identificados os conceitos organizacionais e os mecanismos de causa-efeito mais relevantes. Na tarefa seguinte, os mecanismos de causa-efeito são conectados por meio de um diagrama causal. O diagrama causal é submetido à verificação por parte dos usuários que avaliam se a integração dos mecanismos base está correta e completa. Após a verificação, o diagrama causal é transformado em um grafo de fluxo e a relação entre os elementos do grafo é especificada quantitativamente por meio de equações, dando origem ao modelo inicial. O modelo inicial é avaliado com relação à correção e completude do grafo de fluxo, das variáveis e das equações. Ao final da fase, são realizadas simulações para avaliar se o modelo resultante reproduz o cenário caracterizado pelo modelo de referência, se a estrutura do modelo é adequada ao usuário (com relação ao tamanho, complexidade, nível de detalhe etc.) e se a interface de interação para o usuário é aceitável. Caso haja disponibilidade de dados quantitativos, a acurácia do modelo pode ser avaliada com o auxílio de testes estatísticos.

Na Fase 2, com o modelo inicial pronto, os usuários realizam modificações e refinamentos para identificar ações que podem enriquecer o cenário que o modelo representa. Durante esta fase podem ser introduzidos novos mecanismos base e melhorias na interface

⁹ “reference mode”: Conceito abstrato, específico do domínio Dinâmica de Sistemas, que contém relações entre eventos e elementos relevantes que caracterizam as causas potenciais do problema que está sendo observado. O conceito é apresentado com detalhes em (SAEED, 1998).

com o usuário. Simulações são realizadas para avaliar se a estrutura e o comportamento do modelo aperfeiçoado correspondem ao cenário em observação.

Por fim, na Fase 3, o modelo é aplicado à resolução do problema. Os parâmetros são manipulados para analisar o potencial efeito das ações que poderão auxiliar no tratamento do problema. Caso seja percebido que o modelo requer melhorias, estas também poderão ser incluídas a qualquer tempo.

A Figura 3-5 ilustra as atividades de cada fase do processo de IMMoS e os produtos de trabalho mais relevantes.

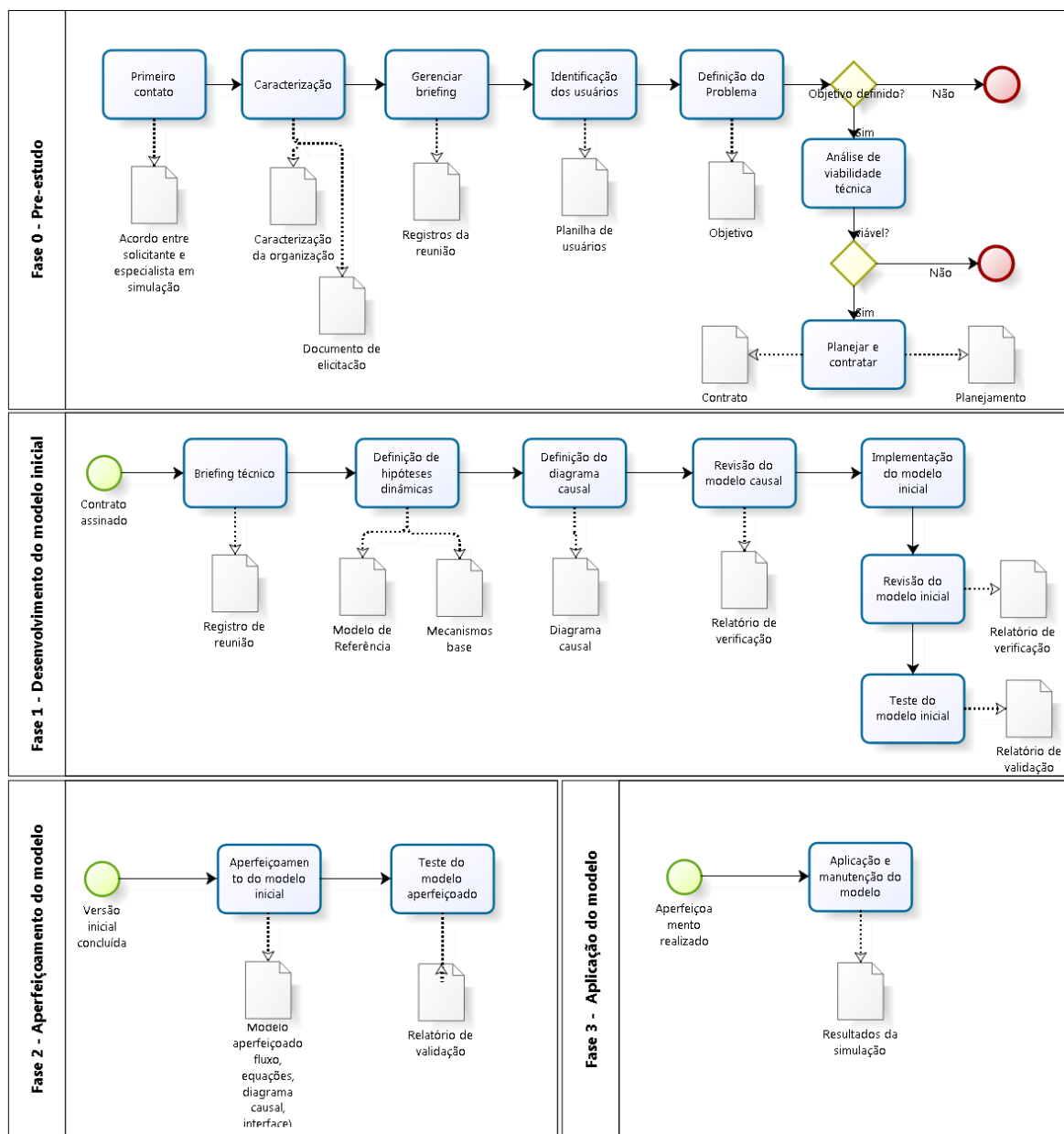


Figura 3-5. Processo para construção de modelos de IMMoS utilizando a notação BPM (OMG, 2008).

No processo de IMMoS também são declarados os papéis e respectivas funções a serem exercidas durante a realização de cada tarefa para construção do modelo. O principal papel é o “Desenvolvedor do Modelo”, que tem participação ativa em todas as atividades e precisa atender a um conjunto de requisitos (PFAHL, 2001, pág. 93), a saber:

- Ter conhecimento teórico e prático suficiente sobre modelagem de dinâmica de sistemas;
- Ter conhecimento suficiente sobre ao menos uma ferramenta de modelagem de dinâmica de sistemas;
- Possuir habilidades para se comunicar para elicitare conhecimento, atuar como moderador e fazer uso de técnicas de apresentação;
- Ter conhecimento suficiente sobre GQM e modelagem de processos.

Além disso, Pfahl acrescenta que para exercer este papel também é desejável que a pessoa tenha um entendimento básico de teoria de sistemas e cibernética, bem como conhecimento sobre características matemáticas dos sistemas de equações diferenciais e integrais (incluindo sua solução numérica e analítica). O conhecimento básico sobre características técnicas e organizacionais do ambiente organizacional onde o modelo será desenvolvido também pode contribuir.

3.3.2. Abordagem de modelagem híbrida

DONZELLI e IAZEOLLA (2001) descrevem uma experiência com simulação de processos utilizando uma abordagem híbrida em dois níveis: de eventos discretos para o nível mais alto, representando uma réplica do processo de software; e analítica e contínua para o nível mais baixo, onde cada atividade do processo é modelada por um tipo de função analítica ou contínua (variação atrelada ao tempo) ou uma combinação destas. Tais funções são utilizadas para expressar o montante de recursos, tempo ou esforço para simular a execução das atividades.

Os artefatos são descritos por três atributos: tamanho, total do esforço de desenvolvimento e índice de defeitos, que pode inclusive existir em função da propagação de defeitos advindos de outros artefatos construídos anteriormente. Com base nestes atributos, são computados os atributos correspondentes aos atributos de saída.

O ambiente de desenvolvimento é modelado em estações de trabalho. Cada estação é associada a um conjunto de funções analíticas ou temporais que expressam aspectos do processo que está sendo estudado (tempo de entrega, esforço, densidade de defeitos etc.). Cada conjunto de funções pode ser facilmente enriquecido, atualizado ou modificado, dependendo do nível de maturidade do contexto, evolução e objetivos do modelo.

Com o intuito de avaliar o modelo construído, os autores apresentaram uma experiência de comparação de dois cenários possíveis: um com requisitos estáveis e outro com requisitos instáveis. A experiência levou em consideração os atributos esforço, tempo de entrega, percentual de retrabalho, densidade de defeitos no produto, tamanho final do produto, perfil da equipe e padrão de defeitos. Embora os cenários utilizados tenham sido fictícios, a comparação entre os resultados obtidos a partir da simulação de ambos os cenários apresentou coerência.

3.3.3. Uma metodologia para desenvolver modelos de eventos discretos

Diante da inexistência de um enfoque sistemático para construção de modelos de simulação de processos de software com o uso da técnica de modelagem de eventos discretos, RUS *et al.* (2003) propuseram uma metodologia que servisse de guia para tais iniciativas. A intenção era que a aplicação desta metodologia melhorasse a qualidade do modelo resultante e reduzisse o esforço e o prazo para construção dos modelos.

Similar ao desenvolvimento de software, as atividades da proposta podem ser organizadas em ciclos de vida de diferentes formas, tais como cascata, iterativo ou baseado em métodos ágeis. A Figura 3-6 ilustra a metodologia organizada sob a forma de esboço de processo.

Logo de início, a metodologia indica a necessidade de definição de um propósito para criação do modelo de simulação. As questões que o modelo se propõe a responder e os dados necessários a responder tais questões devem ser declarados. Com a identificação destes dados, é possível estabelecer um conjunto inicial de parâmetros que servirão de entrada e saída para o modelo. Os autores indicam o uso do GQM para auxiliar na execução desta atividade.

A seguir, devem-se desenvolver cenários para explorar como o modelo a ser desenvolvido será utilizado para resolver a problemática proposta. A partir da descrição dos cenários, é possível identificar a expectativa para os parâmetros de entrada, as ações diretas

sobre estes parâmetros e a expectativa dos resultados com a utilização do modelo. O método orienta a criação de um conjunto de casos de teste para cada cenário descrito. Estes casos de teste deverão ser utilizados na atividade de avaliação do modelo construído. Ao final da especificação dos requisitos do modelo, o aval do cliente (usuário do modelo) deve ser obtido, para garantir que o modelo atendeu ao seu propósito e está alinhado com as expectativas do usuário.

Após a concordância do usuário com relação aos requisitos que o modelo deverá atender, é iniciada a etapa de análise e especificação do processo a ser simulado. O primeiro passo desta etapa consiste na análise e criação de um modelo estático do processo a ser simulado. O objetivo é entender o processo e desenvolver uma abstração que facilite a comunicação entre os envolvidos com a construção do modelo. Este modelo de processo deve conter a descrição dos artefatos utilizados pelo processo, as atividades que constituem o processo, os papéis envolvidos, as ferramentas utilizadas e como se dá o fluxo de informação ao longo da execução do processo. Na atividade seguinte, é criado o diagrama de influência para descrever as relações entre os parâmetros do processo e demais fatores de influência. O diagrama resultante ilustra a propagação da influência dos parâmetros de entrada nos parâmetros de saída, diretamente ou indiretamente, por meio de outros fatores de influência. Estes diagramas de influência podem ser refinados na etapa de projeto, à medida em que aumenta o entendimento sobre a problemática a ser tratada.

Para quantificar a influência entre os relacionamentos dos parâmetros considerados na construção do modelo, dados de execução do processo devem ser coletados e analisados. Dependendo da disponibilidade de dados históricos, podem ser aplicadas técnicas de mineração de dados para identificar os relacionamentos existentes. Outras técnicas também podem ser utilizadas, por exemplo entrevistas com usuários, consulta a especialistas ou evidências publicadas na literatura. Ao final desta etapa, deve-se assegurar que o modelo estático está alinhado aos requisitos do modelo e que representa o processo real (o usuário deve ser envolvido), os diagramas de influência estão completos e consistentes, isto é, se todos os fatores relevantes e respectivas relações estão representados adequadamente e se todos os fatores constam em ao menos uma das equações que compõem o modelo. Adicionalmente, deve-se verificar a unidade de medida utilizada em todos os parâmetros para garantir a consistência.

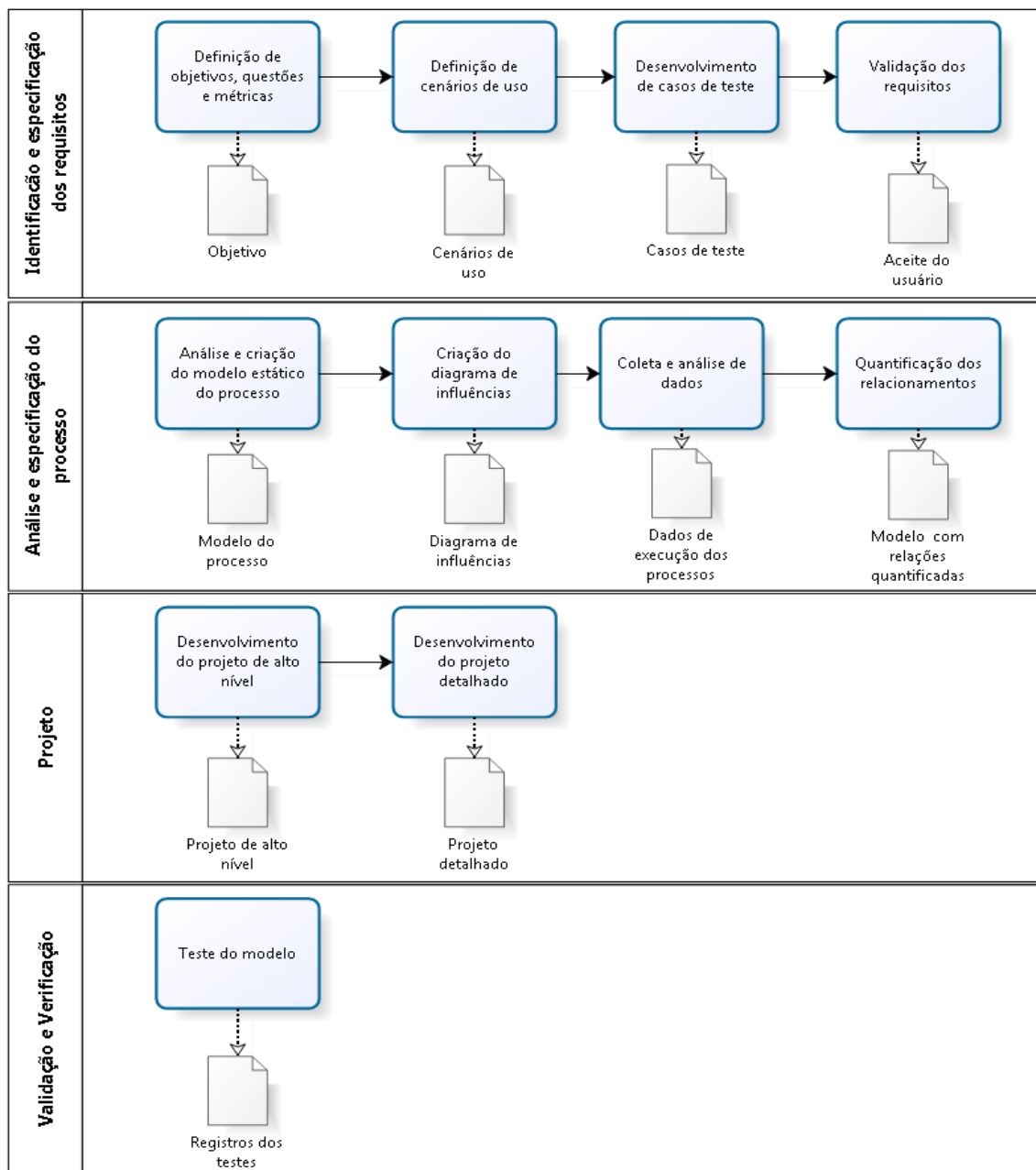


Figura 3-6. Esboço da metodologia proposta por RUS *et al.* (2003) utilizando a notação BPM(OMG, 2008).

Na etapa seguinte da construção do modelo de simulação, deve-se tomar decisões de projeto para implementação do modelo. O modelo de simulação deve ser projetado em alto nível e baixo nível. No alto nível deve-se descrever os componentes que integrarão o modelo de simulação (base de dados, componentes de visualização, o fluxo de informação entre os componentes, submodelos etc.) e os mecanismos que definem como os dados de entrada e saída são gerenciados e representados. No projeto detalhado, é definido o nível de granularidade do modelo e quais elementos e respectivos atributos serão representados.

Após materializar as decisões de projeto, é feita a implementação do modelo de simulação. Os artefatos produzidos durante a análise e especificação são requeridos para atividade de implementação, que requer o uso de uma ferramenta específica de simulação.

A última etapa consiste na realização de testes no modelo para verificar sua capacidade de reproduzir a realidade do contexto que está sendo observado.

Os autores ressaltam que a abordagem proposta não considera o reuso ou incorporação de componentes existentes.

3.3.4. GENSIM 2.0

KHOSROVIAN *et al.* (2008) propõem uma estrutura adaptável para simulação de processos baseada em macro padrões utilizando dinâmica de sistemas.

Segundo os autores, a proposta se diferencia das propostas correntes por apresentar uma estrutura adaptável para processos específicos em uma organização e devido à facilidade de calibração dos parâmetros com dados da própria organização.

Os macro-padrões foram extraídos a partir de um modelo de processo de desenvolvimento em "V". As atividades do processo consideradas na proposta incluem: especificação de requisitos, verificação da especificação de requisitos, desenvolvimento do projeto (modelagem), verificação do projeto, desenvolvimento de código, verificação do código, desenvolvimento dos casos de teste unitários, execução dos testes unitários, desenvolvimento dos casos de teste de integração, execução dos testes de integração, desenvolvimento dos casos de teste de sistema e execução dos casos de teste de sistema.

Para capturar as principais dimensões de desempenho do projeto (duração, esforço, qualidade) e representar o estado das atividades, os autores optaram por organizar os macropadrões em quatro visões: (i) visão do fluxo do produto, que mostra como os artefatos de software são processados (desenvolvidos, corrigidos, verificados e validados); (ii) visão do fluxo de defeitos, que especifica como os defeitos são gerados, propagados, detectados e corrigidos); (iii) visão do fluxo de recursos, que especifica como diferentes recursos são alocados a diferentes atividades do projeto de desenvolvimento; e (iv) visão do fluxo de estados, que especifica como os estados das diferentes entidades mudam durante o projeto de desenvolvimento.

A estrutura foi implementada na ferramenta VenSim que suporta múltiplas visões e permite a vinculação de DLL. Nesta proposta, a DLL foi utilizada como meio de extrair heurísticas específicas da organização sem a necessidade de alterar a estrutura do modelo.

3.4. Verificação e Validação

Quanto à verificação e validação dos modelos, ROBINSON (1997) indica que não há como um modelo ser absolutamente correto. Por definição, modelos são aproximações da realidade, mas as atividades de verificação e validação ao longo do ciclo de vida da modelagem da simulação auxiliam no aumento da credibilidade nos modelos de simulação, ao ponto de torná-los aceitáveis para gerentes e outros tomadores de decisão (MÜLLER e PFAHL, 2008). A verificação tem foco na acurácia da transformação da especificação do modelo em um modelo de simulação executável (WHITNER e BALCI, 1989), enquanto validação pode ser vista como uma atividade que assegura que o modelo reflete adequadamente o comportamento do sistema modelado no mundo real (MÜLLER e PFAHL, 2008).

WHITNER e BALCI (1989) afirmam que todas as técnicas aplicadas à verificação de software são aplicáveis a modelos de simulação executáveis. Os autores propõem uma taxonomia para verificação de modelos de simulação (vide Figura 3-7) e discorrem sobre a aplicação de cada uma destas técnicas.

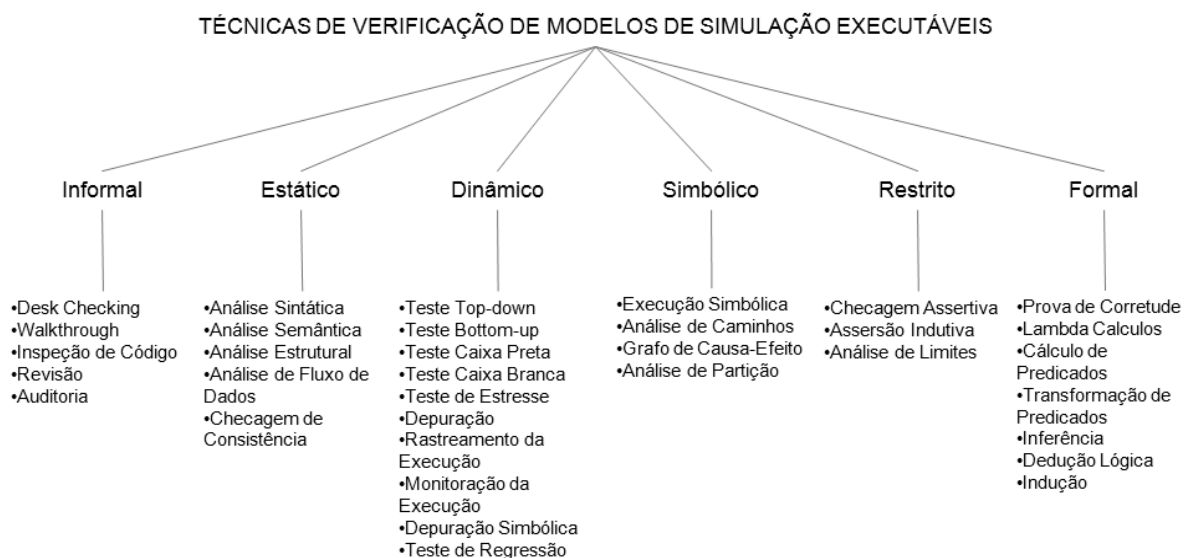


Figura 3-7. Taxonomia para verificação de modelos de simulação executáveis (WHITNER e BALCI, 1989).

A validação dos modelos de simulação geralmente é realizada por meio de consultas a especialista do domínio, que avalia o quanto o comportamento corresponde à realidade, tal como mencionado em (PFAHL, 2001) e (SCACCHI, 1999).

3.5. A Captura do Conhecimento a ser Incorporado nos Modelos

RAFFO (1999) elenca um conjunto de benefícios quando organizações de software de baixa maturidade empreendem em simulação de processos de software. O autor cita que, ao tentar construir os modelos de simulação, a organização reflete sobre o seu processo de desenvolvimento e começa a identificar a necessidade de incluir novas medidas.

Os modelos de simulação construídos pelos gerentes de projetos representam seus modelos mentais. Modelos mentais pobres, ou seja, incapazes de inferir sobre as possibilidades que o projeto poderá assumir, implicarão modelos de simulação pobres.

Os modelos de simulação disponíveis foram construídos para atender cenários específicos. Em geral, os relacionamentos entre as variáveis que compõem os modelos são oriundos da literatura, da base de medidas da organização, da opinião de especialistas no domínio ou da combinação destes. Contudo, a diversidade e a complexidade inerente às características sociotécnicas dos processos de desenvolvimento de software (LINDVALL e RUS, 2000) (DONZELLI, 2006), sugerem que os fatores que exercem influência em determinado contexto organizacional podem não ser representativos em outro cenário. Por exemplo, no estudo conduzido por MELO *et al.* (2011), a percepção de produtividade e dos fatores que a influenciam difere dos fatores identificados em (SCACCHI, 1989), (TRENOWICZ *et al.*, 2009) e (RODRÍGUEZ *et al.*, 2011). Neste caso, uma das possíveis explicações para esta diferença pode estar no método de desenvolvimento, pois em (MELO *et al.*, 2011) as organizações utilizam métodos ágeis.

Assim, considerando o conhecimento dos gerentes de projeto na construção do modelo de simulação, há chances de melhor representar os fatores que exercem influência nos projetos da própria organização. Esta ideia está alinhada com os resultados obtidos em (KITCHENHAM *et al.*, 2007b), que observou que os modelos desenvolvidos pelas próprias organizações tendem a apresentar um resultado melhor do que aqueles construídos com dados de múltiplas organizações.

3.6. Considerações Finais

A simulação de processos de software tem sido aplicada a diversas classes de problema (ZHANG *et al.*, 2008a), que vão desde o apoio ao planejamento de projetos (RAFFO e VANDEVILLE, 2006; KIRK e MACDONELL, 2009) à investigação da volatilidade de requisitos (PFAHL e LEBSANFT, 2000b). Contudo, observa-se que a disseminação da simulação de processos de software como instrumento de competitividade ainda não tem sido amplamente utilizado pela indústria.

Iniciativas têm sido desenvolvidas para facilitar o uso e a disseminação da simulação na indústria. RUIZ *et al.* (2001) desenvolveram um modelo de simulação reduzido a partir do trabalho de ABDEL-HAMID e MADNICK (1991), utilizando a simplificação de modelos proposta por EBERLEIN (1989). AHMED *et al.* (2005a; 2005b) propuseram um método de simulação iterativo e incremental para apoiar profissionais inexperientes em simulação. Com o objetivo de diminuir o custo da construção de modelos de simulação, RAFFO *et al.* (2005) construíram blocos genéricos que podem ser usados para, rapidamente, criar modelos de simulação de processos genéricos. DICKMANN *et al.* (2007) apresentam uma abordagem sistemática para desenvolver e configurar um modelo de simulação de processos que combina um mapeamento flexível de variáveis normalizadas e uma interface de configuração baseada em planilhas. KHOSROVIAN *et al.* (2008) propuseram uma estrutura baseada em macro padrões, adaptável para processos específicos das organizações, que propicia facilidade para calibração dos parâmetros com dados da própria organização.

Essas iniciativas apresentam aspectos comuns: (i) requerem a participação de profissionais especializados na construção dos modelos; (ii) dependem do conhecimento sobre o problema que se deseja simular e/ou na técnica de simulação a ser aplicada para replicar a proposta; e (iii) proveem estruturas (modelos) genéricas e adaptáveis para minimizar o esforço de construção dos modelos.

O estímulo à componentização e ao reuso no âmbito da simulação de processos de software vem sendo abordado por alguns autores. Acredita-se que a reutilização de componentes de modelos de simulação pode contribuir para a diminuição do esforço para construção de modelos. RAFFO *et al.* (2005), propuseram o uso de blocos de construção para composição de modelos de simulação. Cada bloco de construção, denominado *Generalized Simulation Process Simulation Model* (GPSM), pode representar um elemento geral do

modelo (por exemplo, o pool de recursos), uma atividade do processo (ex.: desenvolvimento, inspeção) ou um modelo de processo de software como um todo. No GENSIM 2.0 (KHOSROVIAN *et al.*, 2008), a ênfase dada pelos autores é em macropadrões customizáveis. Cada componente de simulação instanciado a partir do GENSIM representa um componente do modelo de processo que pode ser constituído por uma ou mais atividades. Um exemplo de aplicação desta proposta pode ser obtido em (BIRKHÖLZER *et al.*, 2010b), que representa um ciclo genérico *work-test-rework* para simulação de processos de software. BIRKHÖLZER *et al.* (2010a) propuseram a adoção de uma biblioteca de componentes de simulação de processos de software reutilizáveis. A ideia é facilitar o intercâmbio entre componentes de simulação que possam ser combinados para compor diferentes modelos de simulação.

No entanto, para potencializar o reuso destes componentes de simulação, é necessário dotá-los da capacidade de representar acuradamente a execução de um componente de processo real. Além dos fatores e características inerentes aos processos de software que ditam o seu comportamento, há eventos que podem exercer uma grande influência durante a execução (DONZELLI, 2006). Não considerá-los pode implicar na perda de acurácia do modelo e, conseqüentemente, no baixo interesse pela reutilização.

Sob a perspectiva da Gerência Quantitativa, STODDARD-II e GOLDENSON (2010) apresentam vários modelos baseados em simulação que atendem a todos os critérios desejáveis para modelos de desempenho. Percebe-se que as iniciativas relatadas foram aplicadas em organizações de grande porte (NASA, por exemplo), com disponibilidade de recursos, com especialistas em simulação e no domínio de Engenharia de Software, além de contar com um conjunto significativo de projetos, de forma a facilitar a construção de modelos acurados. Este contexto é bem diferente da realidade das empresas brasileiras que ainda estão nos estágios iniciais de maturidade (TRAVASSOS e KALINOWSKI, 2012). Sendo assim, a ausência de conhecimento no domínio de Engenharia de Software e em simulação, a escassez de dados e a variabilidade do processo são obstáculos que precisam ser superados para viabilizar a adoção de simulação em empresas que ainda estão buscando maturidade em seus processos.

O capítulo seguinte apresenta o instrumento proposto nesta tese, que propõe a tratar estes obstáculos para possibilitar a avaliação do desempenho potencial de projetos de software em organizações que estão em estágios iniciais de maturidade.

Capítulo 4. Prognóstico do Desempenho Potencial de Projetos de Software

Este capítulo descreve os elementos que compõem o instrumento proposto para facilitar a avaliação do desempenho potencial de projetos de software. O instrumento encapsula o conhecimento sobre processos de software e sobre simulação, adota o uso do conceito de componentes de processo de software e permite que eventos que influenciam a execução dos projetos possam ser incorporados para a realização de simulações.

4.1. Introdução

Para viabilizar a análise do desempenho potencial de projetos de software por meio de simulações é necessário facilitar a construção e o uso de modelos de simulação. A ausência de conhecimento no domínio, a ausência de conhecimento em simulação e escassez de dados são obstáculos à construção e uso desses modelos. O instrumento descrito neste capítulo se propõe a aumentar a qualidade da análise do desempenho potencial de projetos de software ao incorporar características desejáveis para modelos de desempenho.

O instrumento proposto trata processos de software como um conjunto integrado de componentes de processo de software, onde cada componente de processo pode conter outro processo (FUSARO *et al.*, 1998) e encapsula informações e comportamentos do processo em um dado nível de granularidade (GARY e LINDQUIST, 1999), tal como tratado por (BARRETO, 2011). A Figura 4-1 ilustra um componente de processo composto por outros componentes.

Como ponto de partida para investigação, as medidas de custo, esforço e prazo foram utilizadas como variáveis dependentes (indicadores para os resultados) na avaliação do desempenho potencial dos projetos. Estas medidas foram selecionadas por pertencerem ao conjunto de atributos de desempenho de processo que a maioria das organizações tem

selecionado para controlar ou melhorar (FLORAC e CARLETON, 1999). Além dessas, outra medida considerada crítica para as organizações que poderia ser incluída inicialmente é produtividade (PUTNAM e MYERS, 2003). Porém, como um dos objetivos do cômputo da produtividade reside na diminuição dos custos e do prazo sem que isto influencie na qualidade do produto final, esta variável será tratada como uma variável independente e controlável pelo usuário nos modelos ora construídos.

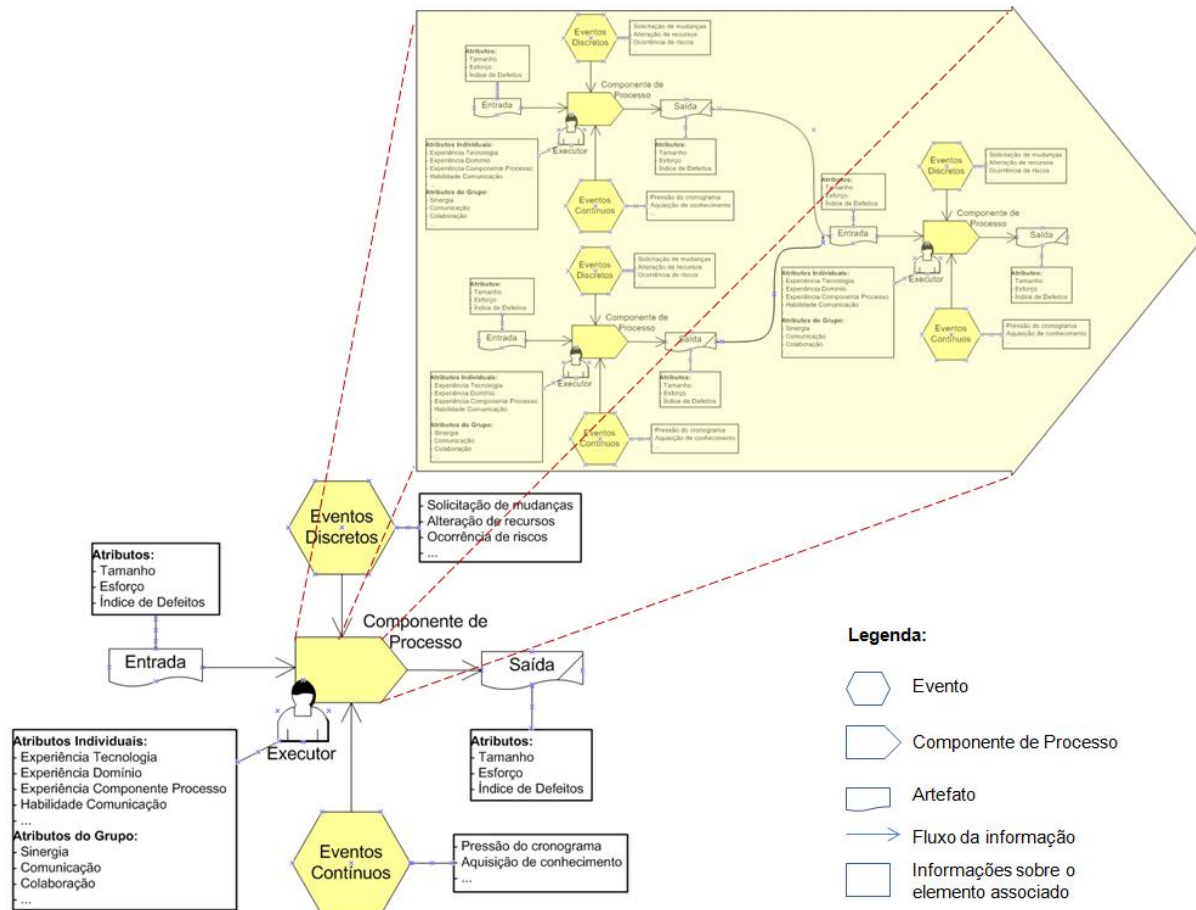


Figura 4-1. Composição do processo a partir de componentes de processo.

A Figura 4-2 ilustra um cenário simplificado de aplicação da simulação de processos de software que este trabalho se propõe a tratar. Neste cenário estão explícitas as alternativas de seleção relacionadas à adaptação do processo padrão para compor o processo definido do projeto e a seleção da equipe de desenvolvimento para o projeto de desenvolvimento de um novo produto.

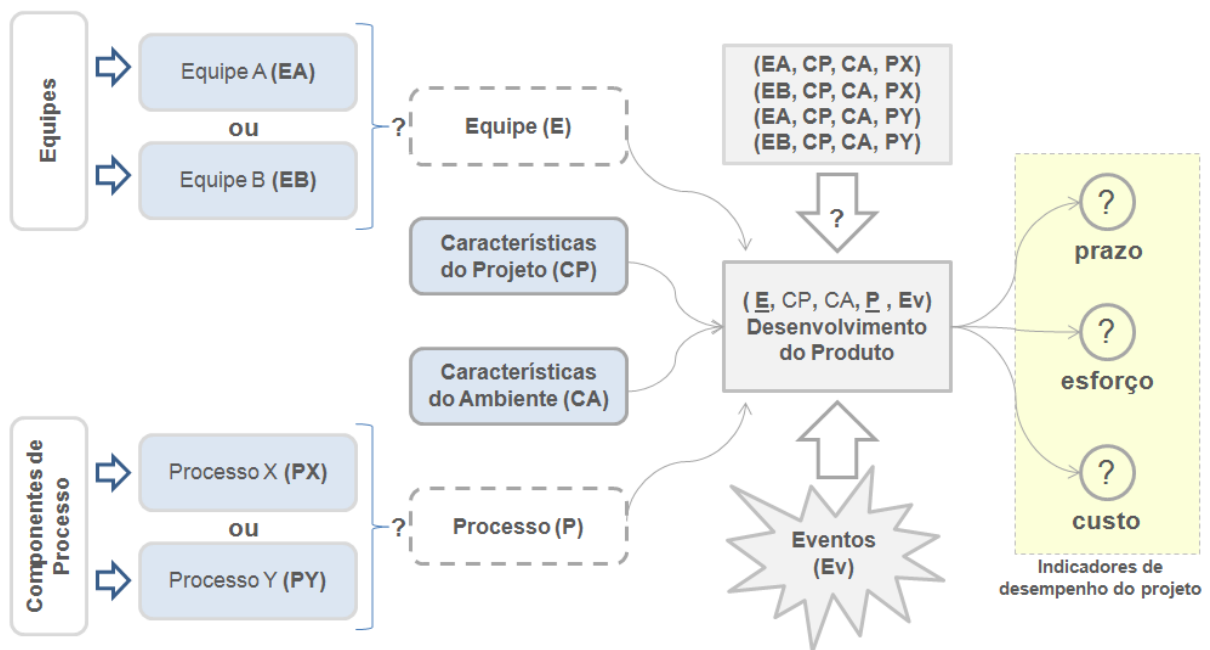


Figura 4-2 . Cenário de aplicação do instrumento proposto

Adaptar um processo de software significa adequar um processo padrão para atender às necessidades de um projeto específico (PEDREIRA *et al.*, 2007; XU e RAMESH, 2007). Fatores ambientais e os objetivos dos projetos são alguns dos aspectos que precisam ser considerados durante a adaptação do processo padrão para um projeto de software (XU e RAMESH, 2007). O uso da simulação pode auxiliar na decisão de quais adaptações podem contribuir para o alcance dos objetivos do projeto e, conseqüentemente, atender aos objetivos de negócio da organização (RAFFO e KELLNER, 1999).

A seleção da equipe também pode ter reflexo direto no custo ou prazo do projeto. Constituir uma equipe altamente qualificada pode aumentar a qualidade dos produtos e propiciar uma antecipação do prazo de entrega. Entretanto, o custo por hora destes profissionais tende a ser elevado. Além disso, a alocação de profissionais especialistas em projetos que não requerem um nível elevado de conhecimento subutiliza os recursos, que poderiam ser mais bem aproveitados em projetos complexos. Vale ressaltar que, além da alocação adequada de recursos, há outras questões a serem consideradas com o propósito de equilibrar as restrições do projeto com a margem de lucro pretendida e o atendimento ou superação das expectativas do cliente (BARRETO *et al.*, 2008a).

Durante a atividade de monitoração e controle dos projetos, os gerentes, geralmente, analisam os indicadores que caracterizam o atual estado do projeto. Simulações podem

auxiliar a investigação do desempenho futuro do projeto e inferir sobre os potenciais efeitos das ações de mitigação e de contingência, principalmente quando eventos não planejados ocorrem e afetam diretamente os indicadores do projeto (KIRK e MACDONELL, 2009).

4.2. O Modelo Conceitual de Referência

Com o objetivo de identificar e quantificar as relações existentes entre características chave para predição do comportamento das organizações sob determinadas circunstâncias, propõe-se um modelo conceitual de referência para construção dos modelos. Este modelo caracteriza um cenário de desenvolvimento de software centrado em processos composto pelos seguintes elementos: o ambiente em que o software será desenvolvido, as pessoas que executarão o processo (colaboradores) e os processos a serem executados. A Figura 4-3 ilustra características dos elementos que compõe um ambiente de desenvolvimento.

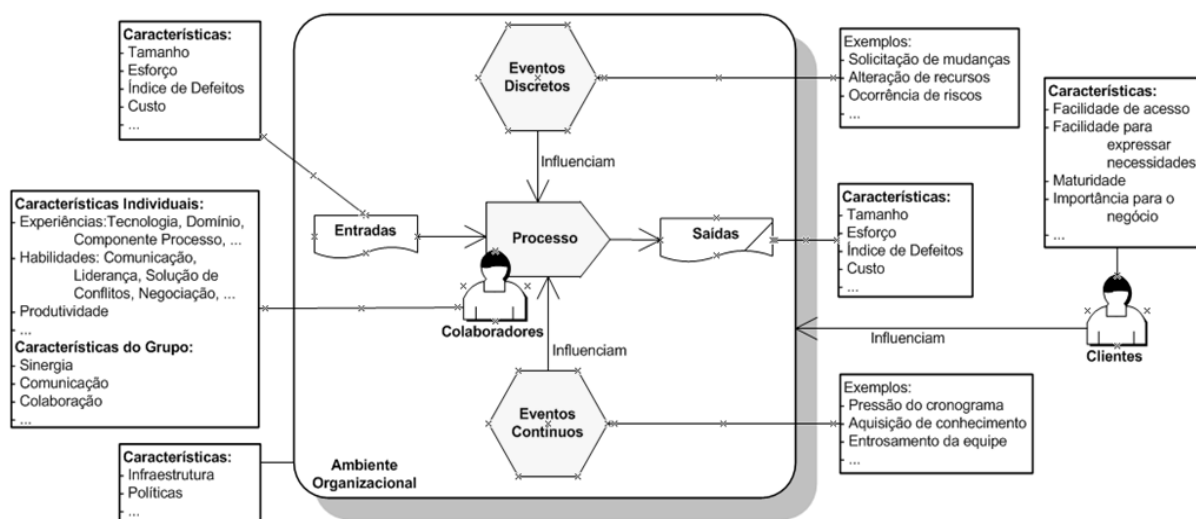


Figura 4-3. Características de elementos que compõe o ambiente de desenvolvimento de software

Os colaboradores que atuam no desenvolvimento do software podem assumir um ou mais papéis na organização, de acordo com suas habilidades, competências e níveis de experiência. Cada colaborador possui características pessoais que regem seu ritmo de trabalho, definem sua taxa de produtividade e influenciam na forma de interagir com os demais colaboradores. As características individuais dos colaboradores podem influenciar nas características do grupo, podendo implicar alterações no grau de colaboração, na facilidade de solucionar problemas, na produtividade da equipe, dentre outras. O processo prescreve as atividades que deverão ser executadas para desenvolver o software, os papéis responsáveis

por cada atividade, os produtos de trabalho consumidos e produzidos por cada atividade e a relação de dependência entre elas.

Cada organização de software pode caracterizar seus clientes de diversas formas. São exemplos de critérios que podem ser utilizados: o grau de importância para o negócio, representatividade financeira, qualidade do relacionamento, tempo de relacionamento, facilidade para expressar necessidades, segmento de atuação, domínio do negócio, dentre outros. De fato, cada cliente possui um conjunto de características que o tornam único, porém, nem todas são relevantes para a organização.

No cotidiano das organizações de software, o cliente descreve suas necessidades, determina as características de qualidade do produto e impõe uma série de restrições a serem observadas durante o seu desenvolvimento. Estes insumos (entradas) são interpretados pelos colaboradores da organização, que, por sua vez, constroem um conjunto de produtos de trabalho intermediários para, ao final do processo, produzir uma saída que corresponda às expectativas do cliente (FENTON e PFLEEGER, 1997).

Durante a execução do processo, inúmeros eventos podem ocorrer: o cliente pode solicitar alterações, um recurso do projeto pode tornar-se indisponível, podem ocorrer problemas na infraestrutura, dentre uma infinidade de possibilidades que podem exercer influência na execução do processo e, conseqüentemente, nos produtos de trabalho. Da mesma forma, há eventos que permanentemente exercem influência na execução do processo (eventos contínuos), por exemplo, incrementando o nível de experiência dos colaboradores à medida que eles realizam suas atividades (HANAKAWA *et al.*, 1999), como também pode aumentar a pressão do cronograma, tendo em vista a proximidade da entrega do produto.

Diante da possibilidade de existirem inúmeras combinações de características e eventos passíveis de ocorrer durante a execução de um processo, dada a diversidade inerente aos processos de desenvolvimento de software (LINDVALL e RUS, 2000), pode-se afirmar que a possibilidade dos mesmos valores para todas as características se repetirem na execução de um processo de desenvolvimento de software é bastante remota. Cada característica pode exercer um tipo de influência na execução do processo, além disso, essas características podem exercer influências umas nas outras, assim como os eventos que podem ocorrer durante a execução do processo.

4.3. O Instrumento Proposto

A primeira versão do instrumento foi constituída por três elementos: um processo para construção de modelos de simulação, um micromodelo de simulação de processos de software (MSPS) e um software para permitir a simulação de projetos. O objetivo do processo para construção de modelos de simulação era sistematizar a extração de modelos quantitativos de forma que o modelo resultante seja integrado ao processo definido para o projeto e permita a realização de simulações. O MSPS foi desenvolvido para facilitar a construção de modelos de simulação baseados em processos de software. Cada instancia do micromodelo representa um componente de processo de software e é capaz de simular seu comportamento. O elemento software viabiliza a construção de modelos de simulação por meio da composição de instâncias do MSPS e provê uma interface para o usuário realizar simulações. Uma descrição da primeira versão consta no APÊNDICE A.

A primeira versão foi submetida a uma experiência na indústria (APÊNDICE B), que auxiliou no direcionamento das ações de pesquisa. A análise da experiência suscitou três aspectos relevantes: Como prover o conhecimento requerido para aprimorar os estudos de simulação? Como diminuir a complexidade inerente à construção de modelos? Como capturar e incorporar o conhecimento do especialista no modelo de simulação para suprir a necessidade dados históricos para construção do modelo?

Para tratar estas questões foram feitas mudanças significativas em cada um dos seus componentes. A maioria das mudanças foi realizada em função do novo pressuposto de que em um ambiente isolado e livre de influências seria possível decompor os indicadores de custo, esforço e prazo em um pequeno conjunto de medidas. Esta decomposição deu origem a um modelo de referência mais simplificado. A simplificação do modelo de referência também possibilitou a simplificação do processo para construção de modelos. As atividades “Preparar Dados” e “Extrair Modelos” foram reduzidas à aplicação dos procedimentos de captura das influências. A complexa atividade de quantificar as relações entre os elementos que constituem o conjunto de dados que representam a execução do processo passou a ser desnecessária, principalmente devido à adoção do novo modelo de referência para os indicadores *Prazo, Custo e Esforço*.

É importante ressaltar que a adoção de um modelo de referência simplificado não desconsidera a existência de influência de múltiplos fatores que atuam concomitantemente em cada uma das medidas representadas. Dada a diversidade de influências e a complexidade de

isolar e quantificá-las uma a uma, optou-se pela elaboração do procedimento que visa caracterizá-las como se fossem uma única influência, representada pela ocorrência de um ou mais eventos (ex.: falta de comprometimento, reuso de componentes, desmotivação da equipe etc.) e incorporá-los ao modelo de simulação.

Na simplificação realizada optou-se por tratar a questão da taxa de inclusão e detecção de defeitos em um trabalho futuro, devido à complexidade do tema. Diante disso, a representação dos ciclos de retorno do processo tornou-se desnecessária. Sendo assim, as características que tornaram o MSPS um micromodelo de simulação híbrido foram retiradas.

A versão anterior do instrumento possuía um comportamento determinístico. Nesta nova versão foi incluído um elemento estocástico para que fosse possível construir uma ampla visão das possibilidades de se obter determinado desempenho para o projeto.

A Figura 4-4 apresenta a nova versão do instrumento. A atividade de preparação dos dados que consistia em tratar os dados (normalizar, identificar *outliers* etc) para viabilizar a extração dos modelos quantitativos foi simplificada e passou a tratar apenas da organização dos dados de cada componente do processo padrão para aplicação do procedimento de captura das influências.

A extração dos modelos ficou restrita à captura das influências que atuam sobre os componentes do processo devido ao uso de um modelo de referência que serve de mecanismo base para o cômputo dos indicadores. Caso a organização não possua base histórica a captura pode ser feita a partir de entrevistas com especialistas, que deverão informar os eventos (riscos e oportunidades) que cada componente de processo está sujeito, com base em sua experiência e nas características do projeto.

A atividade de integração dos modelos foi revista e passou a tratar da construção do modelo, que consiste em incluir no modelo as influências capturadas e representar o processo padrão de forma gráfica no instrumento.

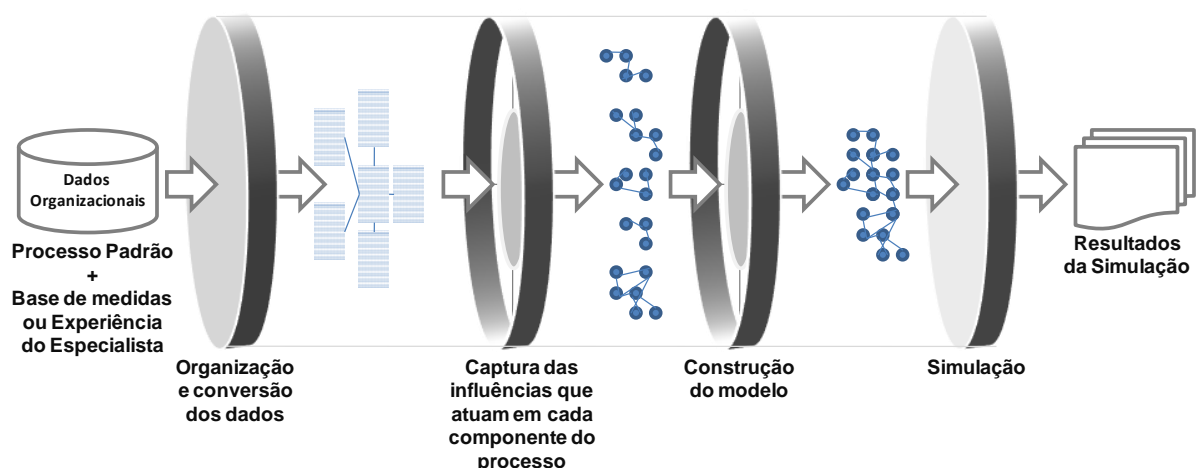


Figura 4-4. Segunda versão do instrumento

As seções seguintes proveem detalhes sobre os aperfeiçoamentos realizados no instrumento.

4.3.1. Captura do conhecimento sobre os eventos discretos

A partir desta observação foi iniciado um trabalho para verificar como o conhecimento sobre eventos que influenciam as medidas durante a execução do projeto poderia ser capturado e como ele poderia ser incorporado nos modelos de simulação.

Há fortes indícios de que gerentes de projeto mais experientes possuem mais chances de tomar decisões acertadas, dada a acumulação de conhecimento na forma tácita e no aprimoramento de suas habilidades em projetos anteriores (MCDONALD, 2005).

A captura do conhecimento necessário para construir modelos de simulação pode ser obtida a partir de revisões da literatura e análises de bases históricas publicadas (ABDELHAMID e MADNICK, 1991; MÜNCH e ARMBRUST, 2003); de modelos de simulação pré-existentes (HOUSTON *et al.*, 2001a; RUIZ *et al.*, 2001); de especialistas no domínio (DONZELLI e IAZEOLLA, 2001; FEATHER *et al.*, 2008); da base histórica de projetos da própria organização (RAFFO *et al.*, 2007); ou a partir da combinação de uma dessas alternativas (PFAHL e LEBSANFT, 2000a; DICKMANN *et al.*, 2007; CHOI e BAE, 2009).

Para as organizações de software, que não possuem especialistas em simulação e que não possuem uma vasta base histórica de projetos, extrair o conhecimento do especialista pode ser a alternativa factível. Entrevistas com especialistas podem ser utilizadas para estimar o valor mínimo, máximo e mais provável da influência para construção de uma distribuição triangular, como realizado em (PFAHL, 2006).

Para capturar o conhecimento sobre os eventos que podem influenciar nos indicadores do componente do processo, optou-se pela definição de um instrumento que: (i) permitisse associar o evento com o componente de processo influenciado; (ii) permitisse indicar qual a medida relacionada ao componente de processo que o evento exerce influência; (iii) possibilitasse estabelecer níveis de impacto para quantificar distintamente a influência do evento sob a medida influenciada; e (iv) permitisse indicar a probabilidade de ocorrência para cada nível de influência.

Para utilizar o referido instrumento, o especialista da organização deve identificar os riscos e as oportunidades que podem influenciar a execução do processo. Neste ponto, os riscos ou oportunidades devem ser considerados como eventos prováveis. Em seguida, o especialista deve indicar em quais componentes (ou atividades) do processo o evento pode influenciar. Para cada componente de processo indicado, o especialista deve informar qual medida básica será impactada com a incidência do evento.

No próximo passo, o especialista deve estimar o impacto de cada evento na medida relacionada com o componente processo. O especialista define níveis de intensidade para o evento e, para cada nível, estabelece um valor mínimo, um valor máximo e a probabilidade do nível de intensidade ocorrer. A Tabela 4-1 apresenta um exemplo de caracterização de um evento.

Tabela 4-1. Exemplo da identificação de um evento

Evento que influencia a execução do processo				
Nome do evento:		Reuso de componentes		
Componente do Processo:		Desenvolver Casos de Uso		
Medida influenciada:		Produtividade Individual		
Intensidade do Evento		Nível 1	Nível 2	Nível 3
Percentual influenciado na medida	Min.	0%	+10%	+30%
	Max.	+10%	+30%	+70%
Probabilidade de Ocorrência [0-1]		0.2	0.3	0.5

Caso a organização disponha de dados que possam ser utilizados para capturar a influência sofrida por cada medida, pode-se construir um histograma e realizar a extração desta informação. Cada bloco do histograma representará um nível de intensidade de um evento.

Procedimento para captura das influências que afetam as medidas que compõem os indicadores de interesse:

- A. Realizar a conversão das medidas, de acordo com as unidades utilizadas pelo componente de simulação.
- B. Para cada medida influenciada, construir um histograma de caracterização da amostra da seguinte forma:
- B1. Calcular a média e a diferença entre o maior e o menor valor da amostra (*dif*);
 - B2. Definir o número de blocos com o valor inteiro aproximado da raiz quadrada do tamanho da amostra¹⁰ (*nblocos*);
 - B3. Definir o tamanho de cada bloco (*dif/nblocos*);
 - B4. Definir o limite inferior (*li*), o ponto central (*pc*) e o limite superior (*ls*) de cada bloco;
 - B5. Agrupar a amostra em cada bloco para contabilizar a frequência;
 - B6. Calcular a frequência em termos percentuais para cada bloco (*freq*);
 - B7. Calcular o percentual da frequência acumulada para cada bloco (*freq_acumulada*);
 - B8. Construir o diagrama propriamente dito.
- C. Calcular a variação percentual que corresponde à diferença do limite inferior e à diferença do limite superior de cada bloco com relação à *média* da medida influenciada.
- C1. Calcular a diferença entre a *média* da medida influenciada e o limite inferior (*dif_mli*) e a diferença entre a *média* da medida influenciada e o limite superior (*dif_mls*) de cada bloco do histograma;
 - C2. Calcular o percentual das diferenças sobre a *média* (*dif_mli/média*) e (*dif_mls/média*).

Após a construção do histograma, o instrumento de caracterização deve ser preenchido conforme ilustrado na Tabela 4-2. Vale ressaltar que a tabela ilustra apenas três níveis, a quantidade de níveis corresponde à quantidade de blocos, que é definida no passo B2.

¹⁰ Aproximação da regra de Sturges: $1 + \log_2 n$ (STURGES, 1926)

Tabela 4-2. Registro das influências que atuam no processo

Evento que influencia a execução do processo				
Nome do evento:	Suposto evento			
Componente do Processo:	Componente impactado pelo evento			
Medida influenciada:	Nome da medida analisada			
Intensidade do Evento	Nível 1	Nível 2	Nível 3	
Percentual influenciado na medida	Min.	$dif_mli/média$ (bloco 1)	$dif_mli/média$ (bloco 2)	$dif_mli/média$ (bloco 3)
	Max.	$dif_mls/média$ (bloco 1)	$dif_mls/média$ (bloco 2)	$dif_mls/média$ (bloco 3)
Probabilidade de Ocorrência [0-1]	$freq$ (bloco 1)	$freq$ (bloco 2)	$freq$ (bloco 3)	

4.3.2. A nova estrutura do MSPS

A estrutura do Micromodelo de Simulação de Processos de Software (MSPS) foi revisada e foi acrescida de um atributo que representa a lista de eventos que podem influenciar o comportamento do processo.

Uma das mudanças do componente refere-se à técnica de simulação. Antes o componente estava baseado na técnica de simulação híbrida e passou a utilizar apenas a simulação de eventos discretos. Inicialmente, a característica herdada da dinâmica de sistemas provia ao componente a capacidade de executar ciclos de retorno que ocorriam durante a execução do processo de software. Por exemplo, a detecção de um defeito durante a execução do processo implicava o retorno à execução da atividade que incluiu o defeito para correção. Isto também implicava na reexecução das atividades subsequentes apenas para a porção do artefato que foi corrigido. Para que o ciclo de retorno correspondesse a uma situação real, seria necessário prover o tamanho da porção do produto de trabalho que apresentou o defeito e a taxa de correção do defeito em função do tamanho para cada tipo de artefato do processo.

Em (RAFFO *et al.*, 2002), por exemplo, o autor pressupõe a existência das medidas de taxa de detecção e de inclusão de defeitos, porém não foi determinado como esta taxa deveria ser obtida ou computada. O cômputo destas medidas perpassa por discussões relacionadas à mensuração do tamanho, da criticidade e da classificação dos defeitos. Portanto não é uma questão trivial e requer uma discussão que transcende o escopo deste trabalho.

Inicialmente partiu-se do princípio que qualquer característica poderia influenciar diretamente estes indicadores. Estas influências seriam determinadas e quantificadas com a extração dos modelos quantitativos. Contudo a dificuldade para extrair os modelos dada a

escassez de dados, motivou uma revisão na forma de computar esses indicadores. Então, ao invés de observar o que poderia influenciar os indicadores, investigou-se o que define o valor dos indicadores ao se observar um projeto considerando um ambiente isolado, livre de qualquer tipo de influência. Desta forma os indicadores *Esforço*, *Prazo* e *Custo* foram decompostos recursivamente. A Tabela 4-3 descreve as medidas que compõem os indicadores *Esforço*, *Prazo* e *Custo*.

Tabela 4-3. Decomposição dos indicadores *Esforço*, *Prazo* e *Custo*

Parâmetro	Descrição	Tipo
<i>Produtividade Individual</i> (PI)	Média histórica da capacidade produtiva de cada indivíduo. Pode ser estimado por meio da seguinte expressão: (Trabalho total produzido / Total do esforço investido).	Parâmetro
<i>Dedicação Diária</i> (DD)	Quantidade de horas por dia que o colaborador dedicará ao projeto.	Parâmetro
<i>Tamanho do Trabalho</i> (TT)	Tamanho do trabalho a ser realizado.	Parâmetro
<i>Feriados e Finais de Semana</i> (FF)	Dias não produtivos. Feriados e finais de semana.	Parâmetro
<i>Data Inicial</i> (DI)	Data de início da execução do componente de processo.	Parâmetro
<i>Custo por Hora</i> (CH)	Custo da hora de trabalho de um colaborador	Parâmetro
<i>Produção Diária Individual</i> (PDI)	Quantidade de trabalho produzida pelo colaborador com base na sua dedicação diária. $PDI_i = PI_i * DD_i$	Variável
<i>Produção Diária da Equipe</i> (PDE)	Montante de trabalho que a equipe é capaz de realizar por dia. $PDE = \sum_{1..n} (PDI_i)$,	Variável
<i>Dias de Trabalho</i> (DT)	Total de dias necessários para concluir o trabalho. $DT = (TT/PDE)$	Variável
<i>Data Final</i> (DF)	Data final prevista para concluir o trabalho. $DF = DI + DT + FF$	Variável
<i>Esforço Individual</i> (EI)	Montante do esforço investido por cada membro da equipe ao longo da execução do processo. $EI_i = DT * DD_i$	Variável
<i>Custo Individual</i> (CI)	Custo de um colaborador para executar um trabalho de tamanho TT executado em DT dias de trabalho. $CI_i = CH * DD_i * DT$	Variável
<i>Esforço</i>	Esforço total de execução do componente processo. $Esforço = \sum_{1..n} (EI_i)$	Indicador
<i>Prazo</i>	Diferença em dias da data inicial para a data final de execução do processo $Prazo = DF - DI$	Indicador
<i>Custo</i>	Custo total para executar o trabalho de tamanho TT. $Custo = \sum_{1..n} (CI_i)$	Indicador

A decomposição dos indicadores foi representada em um grafo acíclico direcionado com o uso da mesma notação utilizada na representação de redes bayesianas (PEARL, 2000). Cada vértice representa uma medida. As setas indicam uma relação de composição entre as

medidas. O sentido da seta indica a medida composta. Cada vértice raiz (também denominado de origem ou fonte), com grau de recepção zero, é um parâmetro. Os vértices sumidouros, que não apontam para outro vértice (grau de emissão zero) são os indicadores. Os demais vértices são variáveis. O grafo foi fracionado por indicador para facilitar a visualização.

A Figura 4-5 ilustra esta decomposição para o indicador *Prazo*. As folhas representam parâmetros fornecidos pelo usuário. O grafo representa uma equipe executora composta por N membros, pois não há restrição para o tamanho da equipe.

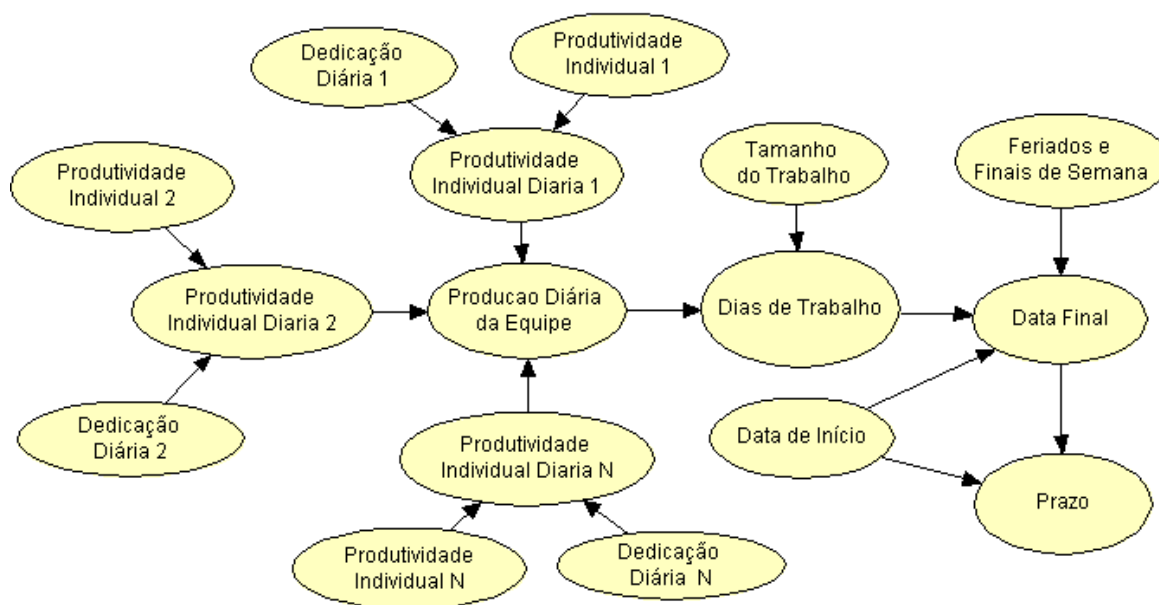


Figura 4-5. Decomposição do indicador *Prazo*

No grafo de decomposição do indicador *Esforço* (Figura 4-6), a medida *Dias de Trabalho* é calculada a partir da medida *Produção Diária da Equipe*, conforme ilustrado no grafo do indicador *Prazo*. Portanto, o indicador *Esforço* também depende indiretamente de todos os fatores que compõem a medida *Dias de Trabalho*.

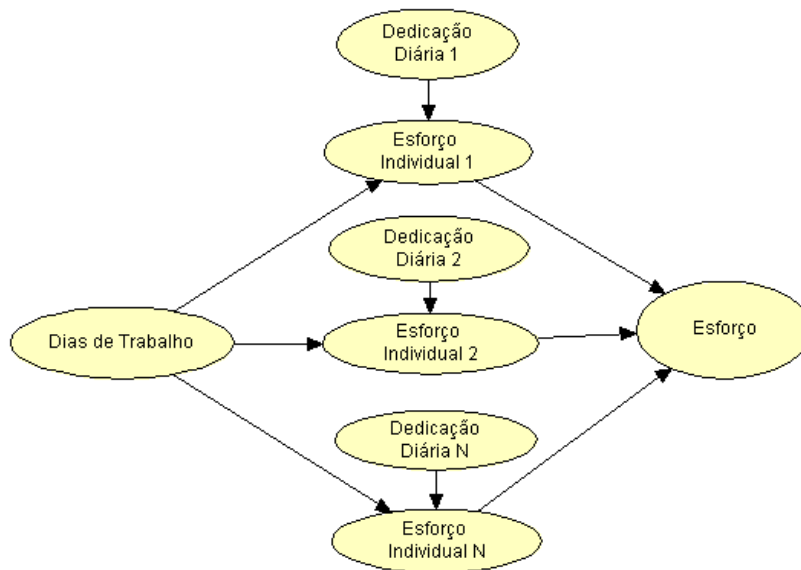


Figura 4-6. Decomposição do indicador *Esforço*

O indicador *Custo* ilustrado na Figura 4-7, depende diretamente do custo de cada indivíduo que compõe a equipe. Cada indivíduo pode ter um custo hora e uma dedicação diária ao projeto de forma diferenciada. Estes dois fatores e a quantidade de dias de trabalho no projeto determinam o *Custo Individual*.

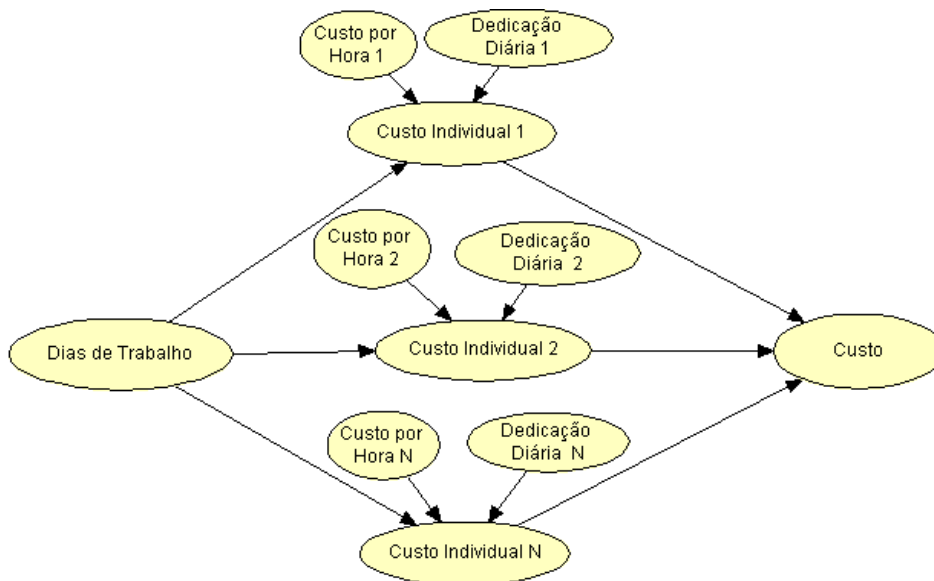


Figura 4-7. Decomposição do indicador *Custo*

O MSPS também foi revisado com base no novo modelo de referência. A capacidade de incluir múltiplos membros na equipe de execução do componente de processo e associar aos eventos que podem influenciar a execução do componente de processo foi incluída. Na versão anterior, a produtividade, por exemplo, era da equipe e não de cada membro.

Acredita-se que a utilização de níveis de impacto para os eventos e a probabilidade de ocorrência de cada nível, pode oferecer uma amostra simulada mais representativa. Quanto maior a amostra, maior a quantidade de níveis.

A simulação é realizada para cada medida do componente que sofre influência dos eventos identificados. O impacto dos eventos em cada medida é computado a partir da obtenção aleatória de números da distribuição gerada pela concatenação das distribuições de cada nível de intensidade do impacto.

A estratégia utilizada para computar o impacto dos eventos associados às medidas do componente de processo consiste na execução dos seguintes passos:

- i. Criação de amostras uniformes para cada nível de impacto declarado. Estas amostras são constituídas por números aleatórios a partir de uma distribuição uniforme para o intervalo [Mínimo, Maximo] (intervalo percentual de influência da medida);
- ii. A partir do conjunto de amostras, é constituída uma única amostra que observa a probabilidade declarada para cada nível de impacto. Por exemplo, se determinado nível de impacto tem a probabilidade de ocorrência em 0,20, a amostra final conterá 20% de casos que correspondem à distribuição uniforme definida para o nível;
- iii. Em cada rodada da simulação, o impacto do evento é sorteado da amostra e aplicado na medida relacionada. Se há mais de um evento, o impacto é acumulado na medida; e
- iv. Em seguida, o efeito dos eventos é propagado para as demais medidas que compõem os indicadores e obtém-se uma amostra para cada indicador.

Embora o modelo de referência para os indicadores tenha sido concebido pela decomposição linear de medidas, a estratégia utilizada para computar a ocorrência dos eventos que influenciam na execução dos componentes de processo incluem uma variabilidade não determinística nos indicadores de desempenho. De forma que, após a simulação, as relações entre os indicadores e as medidas que o compõem podem não ser lineares, tal como descrito por KITCHENHAM *et al.* (2002)

4.4. Trabalhos Correlatos

O instrumento evoluído possui características comuns aos trabalhos (HOUSTON *et al.*, 2001b) e (PFAHL, 2006), que utilizaram simulação estocástica para representar a ocorrência de riscos, porém, difere pela quantidade reduzida de parâmetros, pela estratégia de caracterização das influências no processo, pela flexibilidade para representar múltiplos níveis de impacto para a ocorrência de cada evento (risco ou oportunidade) e pela versatilidade na criação das amostras para os indicadores.

Na experiência apresentada em (PFAHL, 2006), o conhecimento do especialista sobre os riscos é representado por uma distribuição triangular criada a partir dos valores mínimo, máximo e o mais provável, declarados pelo especialista. No instrumento proposto, para cada nível de impacto declarado é criada uma amostra aleatória representada por distribuições uniformes que, posteriormente, são compiladas em uma única amostra. Além disso, o conhecimento sobre os eventos podem advir tanto do conhecimento tácito, quanto do conhecimento explícito, obtido a partir dos dados históricos da organização.

FRANÇA (2009) utiliza a base histórica de projetos da organização para calibrar continuamente o modelo à medida que novos projetos passam a compor a base histórica. Os dados utilizados na calibração são filtrados por meio de uma busca por casos similares ao projeto que está sendo planejado. A principal diferença reside na ausência de um modelo de referência para o cômputo dos indicadores. Em (FRANÇA, 2009), os indicadores são simulados diretamente a partir de uma função de distribuição de probabilidades. No instrumento proposto nesta tese, os indicadores são computados a partir das suas medidas constituintes, com base em um modelo de referência. O uso de um modelo de referência provê uma população de projetos factível, isto é, com indicadores consistentes entre si, o que viabiliza a avaliação das restrições do projeto serem atingidas.

4.5. Considerações Finais

Este capítulo apresentou o instrumento proposto com ênfase no tratamento das questões que permitissem viabilizar o uso de simulação para avaliar o desempenho potencial de projetos de software em organizações que estão buscando a alta maturidade.

Dentre os obstáculos tratados, citam-se: como incorporar o conhecimento requerido no domínio de Engenharia de Software e em simulação para construir o modelo de simulação; como suprir a necessidade de dados históricos para prover acurácia ao modelo; e como tratar a

variabilidade inerente aos processos de software, que estão sujeitos a múltiplas influências a cada execução.

Com o objetivo de verificar se o instrumento atende ao seu propósito foram realizadas avaliações para aferir a capacidade preditiva com relação a outros modelos de estimativa, verificar sua capacidade preditiva no contexto de uma organização em níveis iniciais de maturidade e avaliar se o usuário seria capaz de perceber o conjunto de características desejáveis para modelos de desempenho sob a ótica da Gerência Quantitativa. Os capítulos 5 e 6 tratam desta questão.

Capítulo 5. Avaliação da Capacidade Preditiva

Este capítulo apresenta as experiências realizadas com o intuito de avaliar a capacidade preditiva do instrumento proposto. Foi realizado um estudo comparativo entre o instrumento e alguns modelos de estimativas identificados na literatura. Os resultados obtidos não descartaram uma equivalência entre a acurácia do instrumento proposto e a acurácia dos modelos de estimativa de melhor desempenho considerados no estudo.

5.1. Introdução

A expectativa com a utilização do instrumento é que durante o planejamento do projeto, o gerente de projeto possa avaliar um conjunto de alternativas disponíveis para planejar o seu projeto e verificar aquelas capazes de atender às restrições de prazo, custo ou esforço impostas pelo projeto. O usuário do instrumento poderá avaliar o desempenho potencial de cada componente integrante do processo e, em seguida, verificar como o processo como um todo se comporta com relação às restrições impostas ao projeto.

Vale ressaltar que o objetivo principal do instrumento não é prover maior precisão na estimativa de um indicador específico, mas sim enriquecer a avaliação do desempenho potencial do projeto por meio de recursos que: (i) possibilitem a análise estrutural do processo do projeto para a identificação de gargalos, (ii) forneça uma avaliação do desempenho potencial do processo como um todo e de cada componente de processo individualmente, e (iii) propicie ao tomador de decisão um indicativo sobre as chances de atender os objetivos de negócio e as restrições do projeto com relação ao prazo, esforço e custo.

Neste cenário, a capacidade de estimar os indicadores de prazo, custo e esforço é uma característica importante para o instrumento proposto. Portanto, faz-se necessário avaliar se o instrumento é capaz de capturar e simular o comportamento de projetos de software de forma satisfatória, isto é, com precisão **equivalente** aos modelos e/ou procedimentos de estimativas identificados na literatura que são utilizados no planejamento de projetos de software. Sem

este nível de acurácia o uso do instrumento poderá prover informações imprecisas e, conseqüentemente, sem utilidade para tomada de decisão durante o planejamento.

Este capítulo trata da avaliação da capacidade preditiva do componente de simulação visto como um processo de estrutura monolítica “caixa-preta”, que transforma entradas (requisitos) em saídas (software). A definição, o planejamento e a execução do estudo seguiram os procedimentos descritos em (WOHLIN *et al.*, 2000).

5.2. Definição

Este estudo tem como objetivo avaliar a capacidade preditiva do instrumento proposto nesta tese. Para avaliar esta capacidade, optou-se por comparar a precisão da estimativa realizada pelo instrumento proposto com relação a modelos e/ou procedimentos de estimativas publicados na literatura.

O instrumento se propõe a estimar o esforço, o prazo e o custo de projetos de software. Porém, na literatura, não foram identificados estudos comparativos entre modelos que tratassem de múltiplos indicadores simultaneamente. Diante desta constatação, optou-se pela comparação do instrumento com modelos de estimativa de esforço, amplamente referenciados na literatura como modelos de custo.

O objetivo deste estudo foi estruturado na Tabela 5-1 seguindo o modelo GQM (BASILI *et al.*, 1994) e recomendações descritas em (WOHLIN *et al.*, 2000):

Tabela 5-1. Objetivo do estudo comparativo

Analisar	o instrumento proposto e outros instrumentos que apoiam a realização de estimativas
Com o propósito de	avaliar
Com relação à	precisão das estimativas de esforço
Do ponto de vista do	pesquisador
No contexto de	estudos primários que realizaram comparações entre instrumentos de estimativas

5.3. Planejamento

O estudo será realizado em laboratório pelo pesquisador. A comparação entre o instrumento proposto e demais modelos de estimativas será realizada com o uso de dados obtidos a partir de estudos primários identificados na literatura que realizam comparações entre modelos de estimativas de esforço pré-existentes. A avaliação será realizada com os modelos relacionados em cada estudo primário que apresentarem o melhor desempenho. A

avaliação de desempenho de cada modelo deve ser feita quantitativamente pela análise da medida *Magnitude Média do Erro Relativo* (CONTE *et al.*, 1986), dada pela equação:

$$MMER = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n MER_i, \text{ sendo:}$$

MER_i a magnitude do erro relativo do projeto i , calculado pela razão $|y - \hat{y}| / y$;

y é o valor real de uma medida obtida no projeto; e

\hat{y} representa o valor estimado para a mesma medida do projeto.

Segundo FOSS *et al.* (2003, pág. 985, tradução nossa), “MMER não é um critério de seleção confiável; em muitos casos, MMER selecionará o pior entre dois modelos que estão sendo comparados”. Este aspecto apontado pelos autores refere-se ao problema do julgamento com base em médias. Por exemplo: numa série de três estimativas, um método de estimativa A apresenta a magnitude do erro relativo de 0,04; 1,0 e 0,9 para uma determinada medida; um método B apresentou a magnitude do erro relativo de 0,8; 0,8 e 0,8 para a mesma medida. Neste caso, mesmo o método B sendo superior na maioria dos casos (um erro menor para dois terços da amostra), o método A apresentará um desempenho superior, pois $MMER_A = (0,04+1,0+0,9)/3 = 0,64$ e $MMER_B = (0,8+0,8+0,8)/3 = 0,8$.

Por essa razão será considerado um segundo critério para selecionar o método de estimativa de melhor desempenho: a quantidade de vezes que o método de estimativa apresentar o menor erro de estimativa com relação aos demais métodos. No exemplo acima, considerando este critério, o método B apresenta um melhor desempenho.

Assim, será considerado o modelo de melhor desempenho aquele que apresentar menor MMER, ou seja, menor erro médio comparado aos demais modelos e que apresentar um erro menor um número maior de vezes com relação aos demais. Caso os critérios apontem para dois modelos distintos, ambos deverão ser considerados na avaliação com o instrumento proposto.

Com a realização deste estudo deseja-se observar se o instrumento proposto apresenta um desempenho equivalente ao desempenho de modelos de estimativas de esforço publicados na literatura. Entenda-se por estimativa melhor, a estimativa que apresenta um erro menor quando comparada ao valor real do esforço da amostra.

Desta forma, temos as seguintes hipóteses:

Hipótese Nula (H_0): Não existe diferença entre a probabilidade do instrumento apresentar o menor erro de estimativa e a probabilidade do modelo de estimativa apresentar o menor erro de estimativa. $P(I) = P(M) = 1/2$, onde,

$P(I)$ é a probabilidade do instrumento proposto apresentar o erro de estimativa menor do que o erro de estimativa de um modelo M ; e

$P(M)$ a probabilidade de um modelo de estimativas apresentar o erro de estimativa de esforço menor que o erro de estimativa de esforço apresentado pelo instrumento proposto.

Hipótese Alternativa (H_1): Existe diferença entre a probabilidade do instrumento $P(I)$ apresentar o menor erro de estimativa e a probabilidade do modelo de estimativa $P(M)$ apresentar o menor erro de estimativa. $P(I) \neq P(M) \neq 1/2$

Para avaliar as hipóteses serão utilizadas as seguintes medidas:

- $Esforço_{real}$, medida do esforço real de um projeto contido na amostra.
- $Esforço_{estimado}$, medida do esforço estimado por um método de estimativa para um projeto da amostra.
- *Magnitude do Erro Relativo*¹¹ (MER), dada por $MER = \frac{|Esforço_{real} - Esforço_{estimado}|}{Esforço_{real}}$
- *Menor Erro* (E), variável dicotômica dada por $E = \begin{cases} I, & \text{se } MER_I < MER_M \\ M, & \text{se } MER_I \geq MER_M \end{cases}$

5.3.1. Seleção de variáveis

As variáveis independentes são as medidas *Tamanho do Software* e *Produtividade*. A variável dependente é a medida *Esforço*.

Uma das premissas do instrumento proposto nesta tese é que a *Produtividade* é um fator determinante para o cálculo das estimativas de esforço. Não se pode afirmar que os demais modelos também assumem esta premissa. Desta forma, esta medida pode não incorporar o conjunto de medidas independentes utilizadas pelo modelo. Contudo, caso as medidas

¹¹ Há outras medidas que poderiam ser utilizadas para o cálculo do erro (FOSS *et al.*, 2003), entretanto, optou-se por esta medida devido ao seu amplo uso em estudos primários. O uso de outra medida de erro poderia dificultar a identificação de estudos primários que pudessem ser utilizados na experiência.

Tamanho do Software e *Esforço* sejam fornecidas, a medida *Produtividade* será calculada para permitir a avaliação do instrumento proposto.

5.3.2. Seleção dos modelos a serem comparados

A seleção dos modelos a serem considerados na avaliação foi feita a partir da seleção de estudos primários que satisfaçam os seguintes critérios:

- (i) Realiza comparação entre dois ou mais instrumentos (modelos, técnicas, procedimentos etc.) de estimativa de esforço;
- (ii) Contém todos os dados utilizados no estudo ou a indicação da fonte onde os dados podem ser obtidos de forma livre (sem ônus);
- (iii) A amostra utilizada no estudo para comparar os modelos deve pertencer à mesma organização;
- (iv) A amostra utilizada no estudo para comparar os modelos deve conter as medidas *Tamanho do Software* e *Esforço* de todos os projetos da amostra;
- (v) A amostra utilizada no estudo primário deve fornecer o valor do *Esforço Estimado* calculado pelos modelos analisados;

A amostra utilizada para realização deste estudo deve ser precisamente a mesma utilizada nos estudos primários selecionados. Caso tenha havido exclusão de algum dado, isto é, uma redução da amostra, deve-se utilizar a amostra reduzida. Não deve ser feito nenhum tratamento a fim de normalizar, identificar *outliers* ou qualquer outro no sentido de homogeneizar os dados. Caso alguma destas operações tenha sido realizada no estudo primário, a amostra resultante deverá ser utilizada.

Como fonte inicial de pesquisa por estudos primários, foi utilizado o repositório promisedata.org¹², uma iniciativa que disponibiliza conjuntos de dados de projetos reais utilizados em estudos para a construção de modelos.

5.3.3. Arranjo experimental

O arranjo experimental adotado para o estudo é de “um fator e dois tratamentos”, onde o fator é o método de estimativa e os dois tratamentos correspondem à aplicação do

¹² <http://promisedata.org/>

instrumento proposto por esta tese e aplicação do instrumento de estimativas selecionado para a avaliação.

A aleatoriedade na composição da amostra e o agrupamento não serão aplicados para garantir similaridade na comparação dos resultados obtidos nos estudos primários selecionados. Caso o estudo primário tenha aplicado estes procedimentos, este estudo será contemplado de forma indireta por estas operações.

Este estudo também não realizará operações para prover o balanceamento da amostra a ser utilizada na configuração do instrumento proposto ou na comparação entre os modelos. O balanceamento requer informação de contexto e não se pode garantir a existência e a completude desta informação nos estudos primários. Além disso, qualquer tentativa de balanceamento também poderia influenciar o resultado da comparação entre os modelos.

5.3.4. Instrumentação

Os dados serão organizados em planilhas eletrônicas. A aplicação dos métodos de estimativa, a análise dos resultados obtidos e o teste de hipóteses também serão realizados por meio de planilhas eletrônicas.

A simulação propriamente dita será realizada no software que compõe o instrumento proposto nesta tese.

5.3.5. Ameaças à validade interna

a) O cômputo do tamanho do software

O tamanho de um projeto de software é algo complexo de se mensurar. Uma das unidades de medida utilizadas nos dados disponíveis na literatura é o número de linhas de código. É importante ressaltar que a medida de tamanho nesta unidade é obtida à *posteriori*, isto é, após o software ter sido construído. Portanto, para utilizar modelos que dependem desta medida para estimar custo, prazo ou esforço, seria necessário utilizar outro mecanismo que permitisse estimar o tamanho do software medido em linhas de código. Assim, pode-se afirmar que a acurácia desses modelos de estimativas também depende da acurácia do modelo utilizado para estimar o tamanho do software em linhas de código.

A acurácia da medida de *Tamanho do Software* também pode afetar outros modelos. Mesmo quando calculada a *anteriori*, com o uso de pontos por função ou pontos por caso de

uso, a medida está sujeita a um erro de contagem. Além deste erro, é preciso acreditar que a cada mudança de requisitos do software, tenha sido feita uma recontagem para ajustar o tamanho à modificação realizada. Sem este ajuste no *Tamanho do Software* haverá uma distorção no cômputo das medidas dependentes.

Embora haja consciência do risco decorrente a uma provável imprecisão da medida *Tamanho do Software*, não foi identificada nenhuma ação capaz de mitigar ou contingenciar esta influência.

b) A produtividade como medida elementar

O componente de simulação realiza o cômputo do indicador *Esforço* com base em um conjunto de medidas (vide seção 4.3.2). O instrumento parte do pressuposto que a ocorrência de eventos ao longo da execução do processo influencia nas medidas que compõem os indicadores. Neste estudo, especificamente para o *Esforço*, foi considerado que a variação do indicador ocorreu em função de um conjunto de eventos associados à produtividade.

c) Ausência de informação sobre o modelo comparado

A falta de informação sobre como aplicar os demais modelos para computar as estimativas adequadamente poderia influenciar no resultado da comparação das estimativas do instrumento proposto. Este problema foi contornado pela seleção de estudos primários que já apresentavam estas estimativas de esforço computadas.

d) Propagação dos erros dos estudos primários

O uso da amostra tal como consta nos estudos primários, visa anular a influência de alguma transformação que venha a privilegiar um dos objetos de estudo. Contudo, a amostra utilizada estará sujeita às influências causadas pelas transformações realizadas nesses estudos primários. Adicionalmente, equívocos nos estudos primários com relação à má aplicação dos modelos de estimativas em evidência também poderão influenciar o resultado da comparação realizada neste estudo.

5.3.6. Ameaças à validade de conclusão

A confiabilidade das medidas que constituem a amostra é um aspecto que pode influenciar diretamente a validade de conclusão. Tendo em vista que não houve influência ou controle sobre a coleta das medidas publicadas nos estudos primários, não há como avaliar o

grau de correção da amostra. Além disso, se optou por não tratar a heterogeneidade dos dados, visto que qualquer transformação poderia influenciar a comparação com os resultados dos demais instrumentos de estimativas.

A aleatoriedade intrínseca do instrumento proposto e que será comparado aos modelos de estimativa, dificulta a verificação do processo por um segundo pesquisador, visto que a cada execução do instrumento proposto há uma variação no resultado obtido. Esta variação do resultado também influencia a precisão da comparação, podendo, conforme o caso, incrementar ou decrementar o desempenho do instrumento proposto.

Para tentar minimizar o efeito desta variação, para cada item da amostra, o instrumento deverá ser executado três vezes e será utilizado o resultado intermediário.

5.3.7. Ameaças à validade de construção

a) Restrição à variável dependente Esforço

O instrumento a ser comparado com os demais também computa indicadores de custo e prazo. Este estudo não considera as consequências de uma estimativa de esforço precisa ou imprecisa nos demais indicadores. Não houve a preocupação de verificar se os estudos primários realizados capturaram o cenário em que os dados dos projetos utilizados foram selecionados, por exemplo, tecnologias adotadas, linguagens utilizadas etc. Portanto, características que poderiam influenciar a constituição da amostra também não foram consideradas. Optou-se por utilizar o mesmo agrupamento adotado nos estudos (a exemplo da separação da amostra de teste da amostra de análise), quando realizado.

5.3.8. Ameaças à validade externa

a) Ausência de contexto dos projetos

Diante da ausência de contexto dos projetos que forneceram os dados, não se pode afirmar que os resultados obtidos neste estudo também possam ser observados em outros contextos.

b) Adaptações no instrumento para o estudo

O instrumento é composto por um conjunto de componentes de simulação que representam cada componente de processo. Esta característica o torna um modelo estrutural, ou seja, que permite análise em seus elementos constituintes à medida que é utilizado. Para

permitir a comparação com modelos de estimativas, que em geral não são estruturais, o instrumento foi tratado como um componente monolítico, que representa o processo de desenvolvimento como um todo e que transforma a entrada sob a forma de requisitos em saída sob a forma de software.

Esta adaptação restringe a avaliação do instrumento como um todo, ou seja, não será possível realizar considerações sobre o seu comportamento quando utilizado na sua forma estrutural, composto por um conjunto de componentes.

5.4. Estudo Primário Selecionado

A busca por estudos primários que fossem úteis a realização deste estudo, utilizou o seguinte conjunto de critérios: (i) deve realizar comparações entre modelos de forma quantitativa; (ii) a amostra utilizada deve estar disponível e deve conter ao menos o tamanho e o esforço realizado de cada projeto; (iii) o estudo primário deve separar a amostra em dois conjuntos, uma de análise (treinamento) e outra para testes de acurácia; (iv) o estudo deve apresentar todos os resultados obtidos de forma possibilitar a comparação; e (v) a variável dependente utilizada no estudo primário deve ser esforço, prazo e ou custo.

SHETA *et al.* (2008) realizaram um estudo comparativo entre um novo modelo Fuzzy de estimativa de esforço e outros modelos. Os autores utilizaram um conjunto de dados de projetos da NASA com 18 registros, que foi separada em duas amostras, uma de análise (treinamento) e outra de teste.

KEMERER (1987) realiza um estudo com o intuito de comparar quatro modelos de estimativas. O trabalho do autor é um dos mais citados entre as publicações que tratam de modelos de estimativa. Um dos motivos pode ser atribuído à disponibilidade dos dados utilizados em seu trabalho¹³, que até os dias de hoje, 25 anos depois, ainda serve de referência para a realização de experiências com modelos preditivos. O estudo realiza uma comparação entre as estimativas entre quatro modelos: COCOMO (BOEHM, 1981), SLIM (PUTNAM, 1978), ALBRECHT (ALBRECHT e GAFFNEY, 1983) e ESTIMACS (RUBIN, 1983). Foi utilizado um conjunto de quinze projetos de uma mesma organização. O estudo realizado não fraciona a amostra em subconjuntos de testes e de análise. Portanto não atende ao critério (iii).

¹³ Os dados também estão disponíveis em: <http://promisedata.org/repository/data/kemerer/kemerer.arff>

SHEPPERD e SCHOFIELD (1997) conduziram um estudo para avaliar se a estimativa por analogia pode ser mais acurada do que a de modelos de regressão publicados na literatura. Os autores utilizaram nove conjunto de dados para realizar a avaliação. Destes nove conjuntos, dois foram fracionados em subconjuntos mais homogêneos. Com este fracionamento os autores obtiveram um desempenho melhor para o conjunto de dados rotulado como Desharnais¹⁴. O fracionamento deste conjunto foi feito com base em um dos seus atributos, o ambiente de desenvolvimento. Este estudo não disponibilizou os dados do esforço estimado para cada projeto, foi informado apenas a medida correspondente à *Magnitude Média do Erro Relativo* (MMER) para cada método de estimativa avaliado. Este fato inviabilizou sua inclusão na avaliação planejada por não atender o critério (iv).

5.5. Execução do Estudo

SHETA *et al.* (2008) realizaram um estudo comparativo entre os modelos propostos pelos autores (PSO Based COCOMO e modelo Fuzzy) e outros modelos: Halstead (HALSTEAD, 1977), Walston-Felix (WALSTON e FELIX, 1977), Bailey-Basili (BAILEY e BASILI, 1981) e Doty (HERD *et al.*, 1977). Neste estudo, foi utilizado um conjunto de dados de projetos da NASA, exibidos na Tabela 5-2.

A amostra foi dividida em dois conjuntos, tal como realizado por SHETA *et al.* (2008). Os projetos de 1 a 13 constituíram a amostra de análise e os projetos de 14 a 18 constituíram a amostra de teste. Em seguida, foi aplicado o procedimento de caracterização das influências da amostra, descrito na seção 4.3.1.

O *Esforço Executado* medido em Homem-Mês foi convertido para Homem-Hora, unidade que é utilizada pelo componente de simulação. A conversão considerou que um mês possui vinte e dois dias úteis e cada dia útil possui 8 horas de trabalho, ou seja, 1 Homem-Mês corresponde a 176 Homem-Hora.

A *Produtividade* foi calculada para cada projeto pela razão entre o *Tamanho* do projeto (1000 Linhas de Código) e o *Esforço Executado* (HH) (Tabela 5-3).

¹⁴Disponível em <http://promisedata.org/repository/data/desharnais/desharnais.arff>

Tabela 5-2. Dados de Projetos da NASA (SHETA *et al.*, 2008)

Proj. N°	Tamanho (em 1000 Linhas de Código)	Esforço Executado (Homem-mês)
1	90,2	115,8
2	46,2	96
3	46,5	79
4	54,5	90,9
5	31,1	39,6
6	67,5	98,4
7	12,8	18,9
8	10,5	10,3
9	21,5	28,5
10	3,1	7
11	4,2	9
12	7,8	7,3
13	2,1	5
14	5	8,4
15	78,6	98,7
16	9,7	15,6
17	12,5	23,9
18	100,8	138,3

Tabela 5-3. Amostra de análise com o esforço em Homem-Hora e a produtividade calculada

Proj. N°	Tamanho (em 1000 Linhas de Código)	Esforço Executado (Homem-mês)	Esforço Executado (Homem-hora)	Produtividade (Tamanho/Esforço)
1	90,2	115,8	20380,8	0,004425734
2	46,2	96	16896	0,002734375
3	46,5	79	13904	0,003344361
4	54,5	90,9	15998,4	0,003406591
5	31,1	39,6	6969,6	0,004462236
6	67,5	98,4	17318,4	0,003897589
7	12,8	18,9	3326,4	0,003848004
8	10,5	10,3	1812,8	0,005792145
9	21,5	28,5	5016	0,004286284
10	3,1	7	1232	0,002516234
11	4,2	9	1584	0,002651515
12	7,8	7,3	1284,8	0,006070984
13	2,1	5	880	0,002386364

Em seguida, a amostra de análise foi utilizada para extrair informações úteis à caracterização da distribuição dos dados da produtividade, que foi realizada com base na construção de um histograma.

A média de produtividade foi calculada a partir da amostra de análise, correspondendo à 0,003832494 Kloc/HH. O número de categorias do histograma foi determinado pelo cômputo aproximado da raiz quadrada do tamanho da amostra. Cada elemento da amostra foi

devidamente agrupado nos seus respectivos blocos, as frequências foram calculadas e o histograma da *Produtividade* foi construído (Figura 5-1).

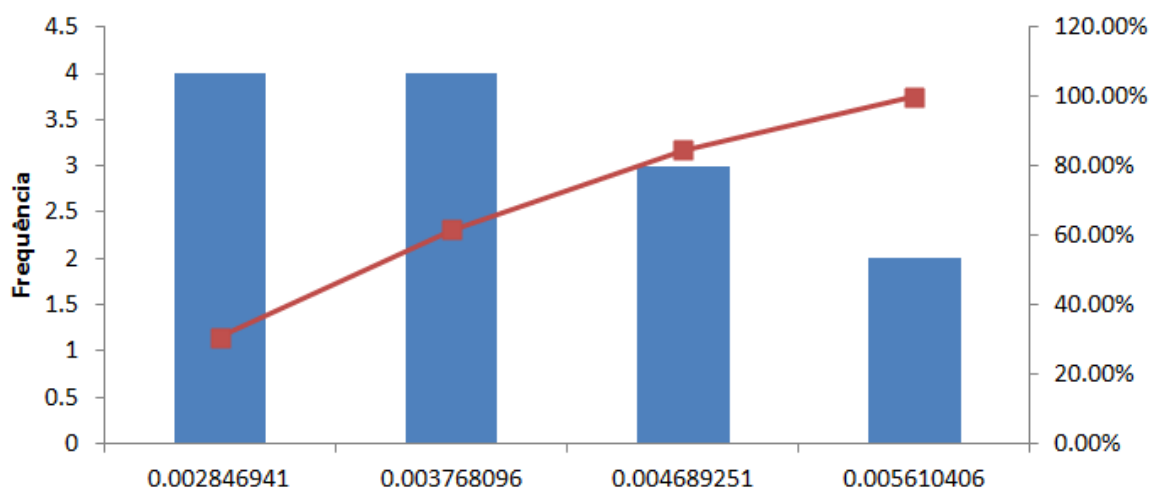


Figura 5-1. Histograma da amostra de análise para a produtividade

A partir da análise dos dados do histograma, foi determinada a variação do percentual que corresponde à diferença entre o limite inferior e superior de cada bloco (Tabela 5-4).

Tabela 5-4. Caracterização da *Produtividade*

Blocos	Centro	Lim. Inferior	Lim. Superior	Freq %,	dif_mli/média	dif_mls/média
1	0,002846941	0,002386364	0,003307519	0,308	-0,3773	-0,1370
2	0,003768096	0,003307519	0,004228674	0,308	-0,1370	0,1034
3	0,004689251	0,004228674	0,005149829	0,231	0,1034	0,3437
4	0,005610406	0,005149829	0,006070984	0,154	0,3437	0,5841

Após a análise dos dados, as influências foram caracterizadas e suas informações foram registradas (Tabela 5-5).

Tabela 5-5. Caracterização do evento

Evento que influencia a execução do processo					
Nome do evento: Influências na produtividade					
Componente do Processo: Desenvolver Software					
Medida influenciada: Produtividade Individual					
Intensidade do Evento	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	
Percentual influenciado na medida	Mín.	-37,70%	-13,70%	+10,34%	+34,37%
	Max.	-13,70%	+10,34%	+34,37%	+58,41%
Probabilidade de Ocorrência [0-1]	0,31	0,31	0,23	0,15	

Após a caracterização do evento, foram realizadas três rodadas de simulação, conforme o previsto no plano do estudo. Em cada rodada o componente de simulação foi instanciado para gerar amostras com 1000 elementos para cada projeto.

A produtividade aplicada no cômputo do esforço simulado em cada projeto correspondeu à média da produtividade calculada a partir da amostra de análise (0,003832494 KLoC/HH) adicionada do sorteio da influência que atua na produtividade de acordo com a caracterização realizada.

Por exemplo, para o primeiro projeto da amostra de teste (projeto 14), com tamanho de 5 mil linhas de código, foi feito um sorteio da influência na produtividade com base na caracterização realizada, ou seja, aleatoriamente foi obtido um número de -37,70% a 58,41% (que corresponde ao intervalo de variação total das influências) com chance de 31% deste número pertencer ao intervalo de -37,70% a -13,70% (nível 1), 31% de chance de pertencer ao intervalo de -13,70% a +10,34% (nível 2), 23% de chance de pertencer ao intervalo de +10,34 a +34,37% (nível 3) e 15% de chance de pertencer ao intervalo de +34,37% a +58,41% (nível 4). Então, considerando que o primeiro sorteio implicou o número -2%, a produtividade utilizada para o cômputo do esforço neste projeto será decrescida de 2%, ou seja, $0,003832494 - (0,003832494 * 0,02) = 0,003755844$. Sendo assim, o esforço simulado para este projeto pode ser calculado pela razão entre o tamanho e produtividade média ($5 / 0,003755844$), o que corresponde a 1331,26 Homem-Hora ou 7,56 Homem-Mes.

No estudo executado, cada rodada de simulação gerou uma amostra de 1000 elementos para cada projeto. Portanto, o esforço foi computado 1000 vezes para cada projeto e selecionado o valor mais provável, ou seja, o esforço de maior frequência dentro da amostra simulada para cada projeto. A Tabela 5-6 ilustra o esforço mais provável obtido em cada rodada.

Tabela 5-6. Rodadas de simulação para seleção do valor intermediário.

Projeto	Esforço Real	1ª Rodada	MER	2ª Rodada	MER	3ª Rodada	Medida Interm.	MER
1	115,8	102,5	0,1149	135,8	0,1727	99,8	102,5	0,1382
2	96	54,3	0,4344	62,4	0,3500	70,4	62,4	0,2667
3	79	59,7	0,2443	72,9	0,0772	56	59,7	0,2911
4	90,9	68,6	0,2453	83,4	0,0825	70,8	70,8	0,2211
5	39,6	56,5	0,4268	35,6	0,1010	41,2	41,2	0,0404
6	98,4	82,2	0,1646	96,5	0,0193	86,2	86,2	0,1240
7	18,9	19,6	0,0370	13,9	0,2646	16,4	16,4	0,1323
8	10,3	16,4	0,5922	16,4	0,5922	12,6	16,4	0,2233
9	28,5	29,2	0,0246	34	0,1930	25,1	29,2	0,1193
10	7	4,2	0,4000	5	0,2857	3,4	4,2	0,5143
11	9	6,4	0,2889	6,6	0,2667	6,5	6,5	0,2778
12	7,3	10,2	0,3973	10,4	0,4247	13,6	10,4	0,8630

Projeto	Esforço Real	1ª Rodada	MER	2ª Rodada	MER	3ª Rodada	Medida Interm.	MER
13	5	3,2	0,3600	3,3	0,3400	2,7	3,2	0,4600
14	8,4	8,1	0,0357	7,2	0,1429	5,7	7,2	0,3214
15	98,7	100,5	0,0182	128,9	0,3060	102,3	102,3	0,0365
16	15,6	13,5	0,1346	14,9	0,0449	12,9	13,5	0,1731
17	23,9	17,5	0,2678	15,5	0,3515	16,9	16,9	0,2929
18	138,3	150	0,0846	139	0,0051	127,1	139	0,0810

A Tabela 5-7 apresenta a comparação entre os modelos de estimativa analisados em (SHETA *et al.*, 2008) com relação à amostra de testes. Pode-se constatar que o modelo Fuzzy e o modelo PSO Based COCOMO apresentaram uma aproximação melhor em dois casos. Os modelos Halstead, Walston-Felix e Doty apresentaram valores muito discrepantes para alguns casos. Na comparação entre os modelos, utilizando o critério MMRE, o modelo PSO Based COCOMO apresentou o melhor desempenho.

Tabela 5-7. Comparação do desempenho entre os modelos

Projetos da amostra de teste:	14	15	16	17	18	
Esforço Real:	8,40000	98,70000	15,60000	23,90000	138,3000	MMER
PSO Based COCOMO	10,1292	113,8133	18,1258	22,64710	141,5997	0,1194
Halstead	7,8262	487,7888	21,1473	30,93597	708,4168	1,7565
Walston-Felix	22,4940	275,9547	41,1117	51,78350	346,0608	1,5556
Bailey-Basili	10,2220	120,8488	15,6854	19,16910	159,4349	0,1595
Doty	28,5176	510,2686	57,0744	74,43140	662,0863	3,0250
Fuzzy	8,4298	104,0233	11,9673	14,12160	129,9467	0,1519

Vale ressaltar que em (SHETA *et al.*, 2008), a métrica MMRE é computada para a amostra completa, ao invés da amostra de teste, o que favorece o modelo Fuzzy (MMRE=0,145527). O PSO Based COCOMO obteve MMRE=0,235344 (Tabela 5-8).

A aproximação medida pelo tamanho do erro também foi melhor para o modelo Fuzzy, com um erro menor para 13 projetos contra 5 do PSO Based COCOMO.

Sendo assim, realizaremos a comparação com o modelo que apresentou o melhor desempenho para a amostra de testes (PSO Based COCOMO) e o modelo que apresentou o melhor desempenho com relação à amostra completa (Fuzzy).

Tabela 5-8. Fuzzy x PSO Based COCOMO para a amostra completa

Projeto	Esforço Real	Fuzzy	MER	PSO Based COCOMO	MER
1	115,8	117,3659	0,013522	128,4369	0,109127
2	96	83,414	0,131104	71,3744	0,256517
3	79	84,0199	0,063543	71,7812	0,091377
4	90,9	96,1158	0,05738	82,5184	0,092207
5	39,6	46,1949	0,166538	59,421	0,50053
6	98,4	95,6133	0,02832	99,5712	0,011902
7	18,9	14,698	0,222328	23,1236	0,223471
8	10,3	12,5369	0,217175	19,4321	0,886612
9	28,5	24,4029	0,143758	36,4612	0,27934
10	7	6,9977	0,000329	6,6569	0,049014
11	9	7,8302	0,129978	8,6913	0,0343
12	7,3	10,5075	0,439384	14,9679	1,050397
13	5	6,2312	0,24624	4,7288	0,05424
14	8,4	8,4298	0,003548	10,1292	0,205857
15	98,7	104,0233	0,053934	113,8133	0,153124
16	15,6	11,9673	0,232865	18,1258	0,16191
17	23,9	14,1216	0,409138	22,6471	0,052423
18	138,3	129,9467	0,0604	141,5997	0,023859
		MMER	0,145527	MMER	0,235344

Para a amostra de testes, pode-se observar que a diferença entre o erro médio entre os modelos é menor que 0,02 (2%) com vantagem para o modelo PSO Based COCOMO. Já com relação à quantidade de erros menores a vantagem é de 1/5 para o instrumento proposto.

Tabela 5-9. Instrumento proposto x PSO Based COCOMO para amostra de teste

Projeto	Esforço Real	Instrumento Proposto	MER	PSO Based COCOMO	MER	E
14	8,4	7,2	0,142857	10,1292	0,205857	I
15	98,7	102,3	0,036474	113,8133	0,153124	I
16	15,6	13,5	0,134615	18,1258	0,161910	I
17	23,9	16,9	0,292887	22,6471	0,052423	M
18	138,3	139	0,080983	141,5997	0,023859	M
		MMER:	0,137563	MMER:	0,119435	

A avaliação da hipótese definida no planejamento do estudo, considerando o instrumento proposto e o modelo PSO Based COCOMO quando submetidos à amostra de testes, será realizada por meio do teste binomial, com nível de significância $\alpha = 0,05$, tal como no estudo anterior.

A Figura 5-2 ilustra a distribuição binomial para uma amostra de tamanho 5. Por tratar-se de uma distribuição discreta, faz-se necessário calcular o valor verdadeiro de α . Com o auxílio do gráfico, pode-se observar que o intervalo crítico para uma amostra tão pequena é

bastante restrito. Determinando o intervalo crítico bilateral para valores menores que $P(0)$ e maiores que $P(5)$, temos $\alpha = P(0) + P(5) = 0,03125 + 0,03125 = 0,06250$, que é superior ao nível de significância 0,05 determinado inicialmente. Dada a pequena diferença, assumiremos $\alpha = 0,0625$.

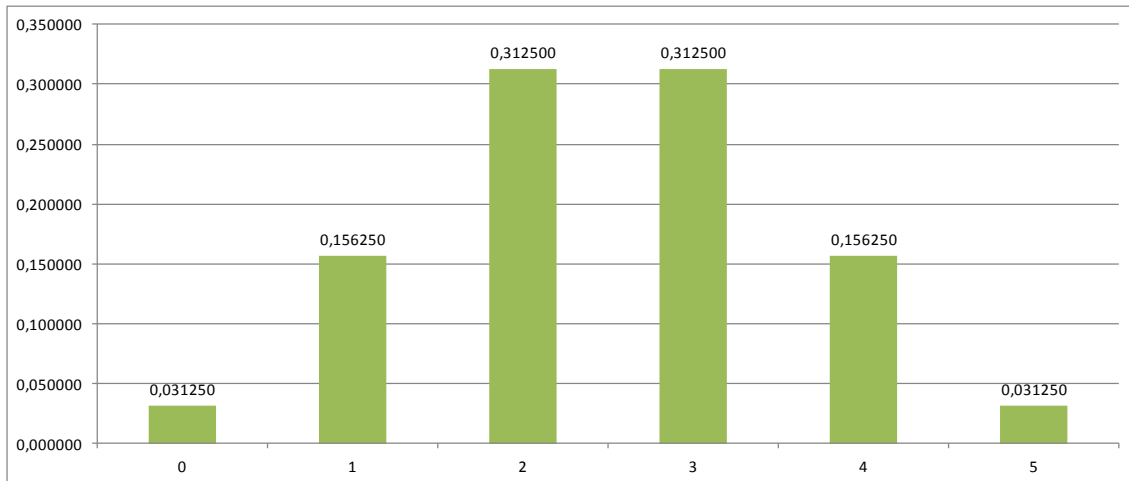


Figura 5-2. Distribuição binomial para amostra de tamanho 5

Tendo estabelecido α , para rejeitar a hipótese nula é necessário avaliar se $P < \alpha/2$, onde $P = \frac{1}{2^N} \sum_{i=0}^n \binom{N}{i}$, sendo N o tamanho da amostra e n o número de casos mais raros, tem-se que, $P(0-2) = 0,5$. Desta forma, não se pode rejeitar a hipótese nula, visto que $P > 0,03125$.

Devido a uma amostra tão pequena, a hipótese só seria refutada caso o P estivesse no intervalo crítico, ou seja, caso não houvesse ocorrência de um dos eventos na amostra. Uma alternativa seria diminuir a significância, aumentando o intervalo crítico para valores menores que $P(1)$ e maiores que $P(5)$, implicando $\alpha = 0,375$, o que aumentaria as chances de erro tipo-I, isto é, aumentaria as chances de refutar uma hipótese verdadeira.

Passando a analisar o desempenho do instrumento proposto com relação ao modelo Fuzzy para a amostra completa, observa-se uma diferença de aproximadamente 0,09 (9%) na magnitude média do erro relativo em favor do modelo Fuzzy. Com relação à aproximação das estimativas, o modelo Fuzzy também apresentou melhor desempenho, com um erro menor de estimativa ($E = M'$) em onze dos dezoito casos.

Para executar o teste de hipótese, os mesmos procedimentos foram realizados. A distribuição binomial (Figura 5-3) indicou que, para um nível de significância de 0,05, o intervalo crítico seria para valores menores que $P(4)$ e superiores a $P(14)$ implicando em $\alpha = 0,030884$. A rejeição da hipótese nula será possível se $P < \alpha/2 = 0,015442$.

Computando P, para o evento de E mais raro (I), tem-se, $P(0-7 I) = 0,240341$, o que impede a rejeição da hipótese nula, pois $P(0-7 I) > 0,015442$.

Tabela 5-10. Instrumento proposto x modelo Fuzzy para amostra completa

Projeto	Esforço Real	Instrumento Proposto	MER	Fuzzy	MER	E
1	115,8	102,5	0,1382	117,3659	0,0135	M
2	96	62,4	0,3500	83,414	0,1311	M
3	79	59,7	0,2443	84,0199	0,0635	M
4	90,9	70,8	0,2211	96,1158	0,0574	M
5	39,6	41,2	0,1010	46,1949	0,1665	I
6	98,4	86,2	0,1240	95,6133	0,0283	M
7	18,9	16,4	0,1323	14,698	0,2223	I
8	10,3	16,4	0,5922	12,5369	0,2172	M
9	28,5	29,2	0,1193	24,4029	0,1438	I
10	7	4,2	0,4000	6,9977	0,0003	M
11	9	6,5	0,2778	7,8302	0,1300	M
12	7,3	10,4	0,4247	10,5075	0,4394	I
13	5	3,2	0,3600	6,2312	0,2462	M
14	8,4	7,2	0,1429	8,4298	0,0035	M
15	98,7	102,3	0,0365	104,0233	0,0539	I
16	15,6	13,5	0,1346	11,9673	0,2329	I
17	23,9	16,9	0,2929	14,1216	0,4091	I
18	138,3	139	0,0810	129,9467	0,0604	M
		MMER	0,2318	MMER	0,1455	

Nesta rodada de avaliação, também não foi possível refutar a hipótese definida no estudo, o que significa que não se pode concluir se existe ou não existe diferença entre a quantidade de vezes que o instrumento proposto oferece uma estimativa com um erro menor que os modelos comparados.

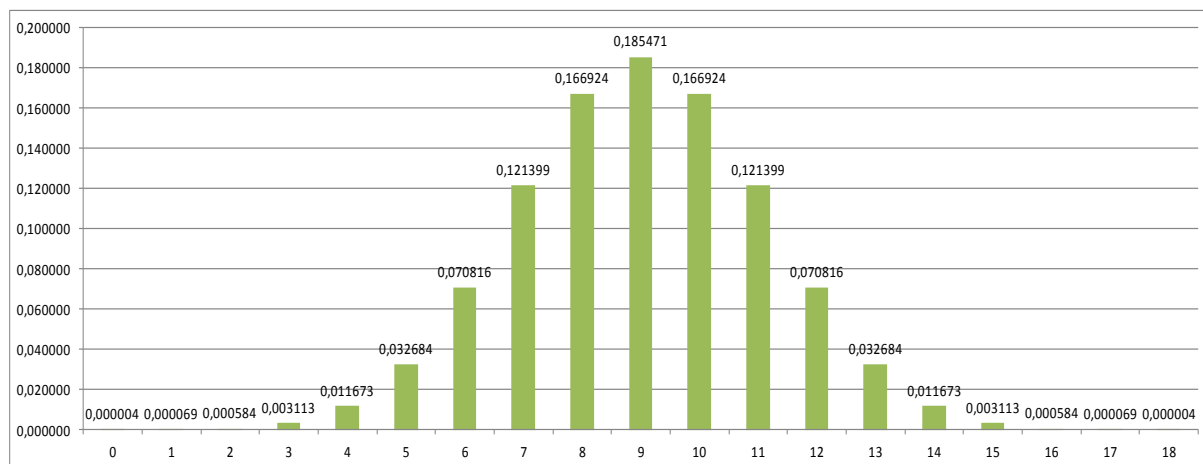


Figura 5-3. Distribuição binomial para amostra de tamanho 18

5.6. Considerações Finais

O propósito da avaliação realizada foi verificar se o instrumento, sob uma forma monolítica, seria capaz de apresentar estimativas de esforço equivalentes a outros instrumentos que apresentam um bom desempenho.

A estratégia traçada para essa avaliação estava baseada em avaliar se há diferença entre a estimativa de esforço provida pelo instrumento proposto e a estimativa provida por outros instrumentos. Contudo, os estudos não foram conclusivos no sentido de rejeitar a hipótese que esta diferença inexistente. Adicionalmente, a diferença observada nas comparações realizadas com relação à magnitude média do erro relativo (vide Tabela 5-11) está alinhada à crença que o instrumento pode prover resultados satisfatórios quando comparado a outros instrumentos que realizam estimativas de esforço.

Tabela 5-11. Diferença entre os instrumentos preexistentes e o instrumento proposto

	<i>Magnitude Média do Erro Relativo (MMRE)</i>		<i>Número de casos com menor erro de estimativa (E)</i>	
	Instrumento Existente	Instrumento Proposto	Instrumento Existente	Instrumento Proposto
PSO Based COCOMO	0,11	0,13	2 (40%)	3 (60%)
Fuzzy	0,14	0,23	11 (61%)	7 (39%)

Considerando estes resultados, a dimensão dos riscos à validade e a restrita aplicação do estudo primário é possível apenas conjecturar sobre uma provável equivalência entre o instrumento proposto e os demais instrumentos de bom desempenho na realização de estimativas de esforço.

Capítulo 6. Experiência com Dados de Processos

Este capítulo descreve uma experiência realizada com a intenção de avaliar o instrumento proposto por esta tese quanto à capacidade de representar a execução de processos em uma empresa, quanto à capacidade de prover informação relevante sob a ótica da gerência quantitativa de projetos. O modelo de simulação foi aplicado a um conjunto de projetos e os resultados obtidos sugerem que quanto mais homogêneo for o conjunto de projetos utilizado para gerar o modelo, maior a precisão do instrumento.

6.1. Introdução

Uma vez que o instrumento de simulação se mostrou capaz de prover certo nível de acurácia na experiência em laboratório (descrita no capítulo 5), foi dada sequência à pesquisa com a execução de dois estudos para coletar indícios sobre a capacidade de estimar do instrumento proposto e sobre a utilidade do instrumento para o usuário sob uma perspectiva da gerência quantitativa de projetos.

O primeiro estudo foi executado com o objetivo avaliar se o instrumento como um todo seria capaz de estimar o comportamento do processo de forma equivalente ao procedimento de estimativas adotado pela organização. A princípio, em linhas gerais, o comportamento do processo padrão seria capturado a partir de uma amostra de análise composta por projetos concluídos e incorporado no modelo de simulação. Em seguida, o modelo seria simulado e comparado com o esforço estimado e realizado dos projetos de uma amostra de teste. Contudo, devido à limitação do tamanho da amostra, não foi possível separar o conjunto de projetos concluídos em duas amostras. Desta forma, a avaliação limitou-se a verificar se o modelo extraído seria capaz de representar o comportamento dos projetos concluídos que serviram de fonte para extração do comportamento.

O segundo estudo foi realizado com a participação dos líderes de projetos. Os líderes de projeto receberam treinamento em gerência quantitativa e avaliaram o instrumento com

relação às características percebidas durante a realização de um exercício. Para avaliação foram utilizadas as características desejáveis para modelos de desempenho

Os resultados obtidos indicam que é possível construir um modelo de simulação capaz de representar o comportamento dos projetos que serviram de fonte de dados para a construção do modelo e que o instrumento foi capaz auxiliar os usuários de forma que eles conseguissem executar práticas de gerência quantitativa de projetos sem necessariamente possuir conhecimento em técnicas estatísticas ou outras técnicas quantitativas.

As seções a seguir caracterizam a organização que participou dos estudos e descreve como eles foram conduzidos e os respectivos resultados.

6.2. A Organização Participante

Os estudos foram conduzidos em uma organização estatal de tecnologia da informação que provê serviço aos diversos setores do Estado a que pertence. Em 2007, o setor de desenvolvimento de sistemas da organização passou a adotar processos padrão para sistematizar a condução de projetos. No final deste mesmo ano, submeteu-se a uma avaliação MR-MPS nível F e obteve êxito. A partir de então organização tem aprimorado seu processo padrão de desenvolvimento de software. Atualmente, a organização possui processos padrão adaptados para cada tipo de projeto e ao final de 2010 realizou uma nova avaliação de maturidade para renovar o nível F. O setor de desenvolvimento da Organização conta com aproximadamente quarenta funcionários, dos quais trinta e cinco estavam envolvidos nos projetos selecionados para os estudos.

A execução dos estudos considerou a versão atual do processo padrão de desenvolvimento para sistemas web, que passou a vigorar a partir de meados de 2010. O referido processo está organizado em três fases e foi definido utilizando a notação BPM (OMG, 2008). Na primeira fase (Figura 6-1) é realizado o levantamento dos requisitos e elaborada uma proposta técnica que contém as necessidades do cliente, o escopo do projeto, a estimativa de tamanho em pontos por função e uma estimativa de custo. Após a aprovação do cliente, o líder do projeto recebe autorização para iniciar o planejamento. No planejamento o líder realiza a alocação dos recursos, elabora o cronograma, produz o plano de riscos e os demais artefatos que constituem o plano do projeto.

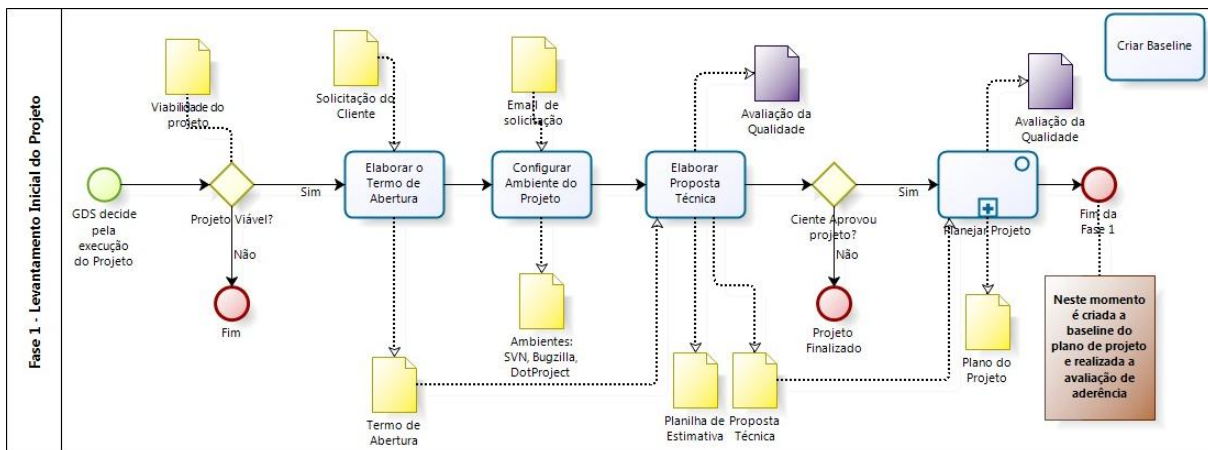


Figura 6-1. Fase 1 do processo padrão de desenvolvimento da organização (Fonte: Intranet da organização)

Em seguida, no início da Fase 2 (Figura 6-2) a especificação da solução é realizada e inclui a criação de protótipo de telas para auxiliar na definição da interface. Antes de apresentar a especificação para a equipe, é feita uma avaliação com o cliente para verificar a correção e completude do que foi especificado. Depois que a equipe entende o que precisa ser feito, é dado início à produção dos casos de teste.

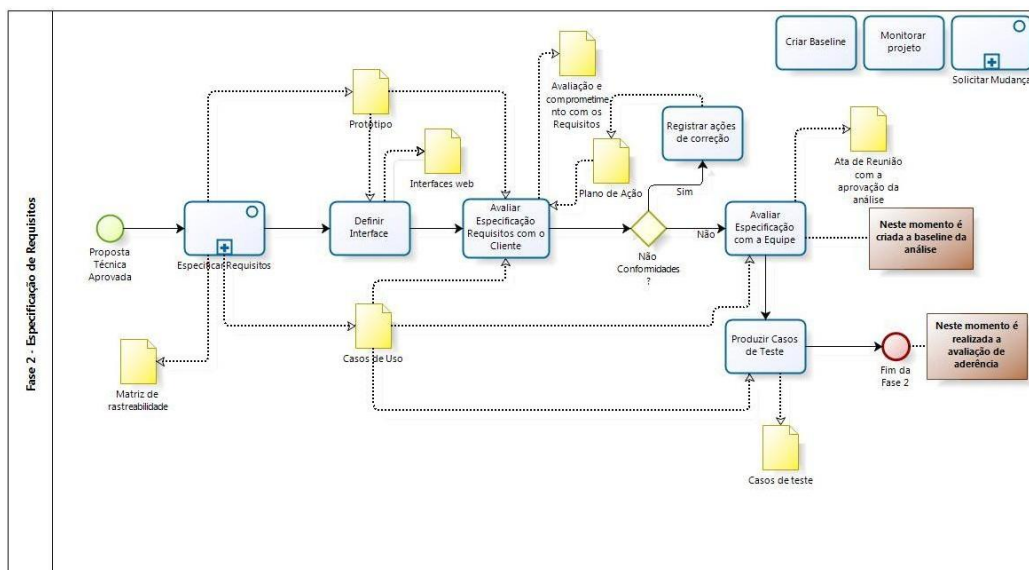


Figura 6-2. Fase 2 do processo padrão de desenvolvimento da organização (Fonte: Intranet da organização)

À medida que os casos de teste são produzidos, a Fase 3 é iniciada. O modelo de projeto é elaborado e avaliado antes de iniciar a codificação. Após a codificação são executados os testes e correções são realizadas. O processo é encerrado com a homologação do software pelo cliente, que pode incluir treinamentos, visitas *in loco* e outras atividades necessárias para a obtenção do aceite da solução.

Para apoiar a execução dos projetos, a organização utiliza a ferramenta DotProject¹⁵, que oferece recursos para o planejamento integral do projeto, que inclui a instanciação do processo padrão, a alocação de recursos, o planejamento de riscos, a definição do cronograma, dentre outros recursos.

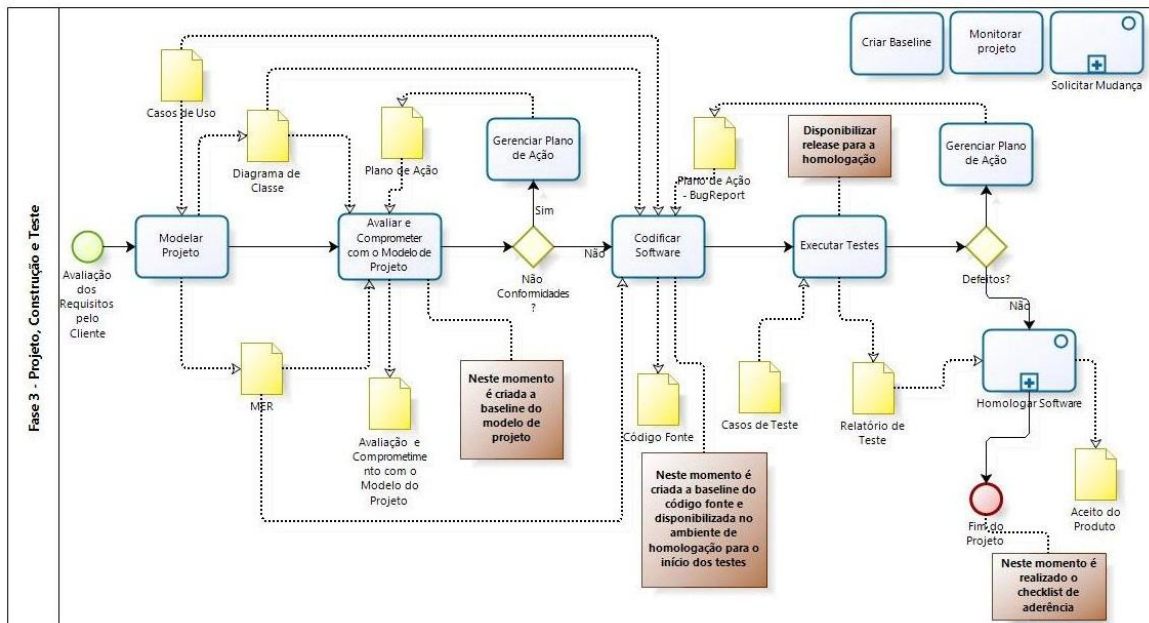


Figura 6-3. Fase 3 do processo padrão de desenvolvimento da organização (Fonte: Intranet da organização)

A ferramenta também é utilizada para monitoração e comunicação ao longo da execução dos projetos. Os colaboradores registram o esforço investido durante a execução de cada atividade à medida que as tarefas são realizadas. Estes registros proveem visibilidade sobre o estado do projeto com relação ao custo, esforço e prazo que foram estimados.

6.3. Avaliação dos Projetos Simulados

O objetivo da avaliação está declarado a seguir, utilizando o modelo GQM:

Tabela 6-1. Objetivo do estudo de caso

Analisar	o instrumento proposto
Com o propósito de	avaliar
Com relação à	precisão das estimativas de esforço de projetos de software
Do ponto de vista do	pesquisador
No contexto de	uma organização que utiliza processos padrão e realiza medição de forma sistemática

¹⁵ <http://www.dotproject.net/>

6.3.1. Seleção dos dados

Para compor a amostra de projetos foram utilizados os seguintes critérios: (i) o projeto tenha sido executado na versão vigente do processo padrão de desenvolvimento de sistemas; (ii) tenha sido concluído; e (iii) o tamanho do projeto tenha sido estabelecido em pontos por função. A princípio foram identificados sete projetos que atenderam a estes critérios. A Tabela 6-2 apresenta a caracterização dos projetos selecionados¹⁶.

A extração dos dados utilizados nesta experiência ocorreu pela interação direta com a ferramenta DotProject. Para cada projeto foram extraídos os registros de trabalho dos colaboradores, quais pessoas atuaram na execução de cada componente de processo e quando a execução de cada componente foi concluída. Os dados foram organizados em planilhas e agrupadas de acordo com cada componente do processo (APÊNDICE D).

Tabela 6-2. Projetos selecionados

	Projeto 1	Projeto 2	Projeto 3	Projeto 4	Projeto 5	Projeto 6	Projeto 7
Cliente:	XX	YY	ZZ	ZZ	ZZ	ZZ	WW
Data Inicial:	20/07/2011	06/01/2012	28/03/2011	10/01/2012	08/06/2011	19/09/2011	29/06/2011
Data Final Prevista:	30/09/2011	07/03/2012	25/11/2011	26/04/2012	09/11/2011	22/12/2011	11/08/2011
Data Final Real:	30/09/2011	18/05/2012	28/12/2011	04/05/2012	29/12/2011	05/03/2012	29/07/2011
Responsável pelo Projeto:	Pessoa 3	Pessoa 4	Pessoa 2	Pessoa 2	Pessoa 2	Pessoa 2	Pessoa 5
Tamanho do Projeto (PF):	166	17	115	144	74	85	131
Esforço (HH):	478,5	211,5	711,85	138,81	254,22	360,91	172,82
Horas do Projeto:	755	458	1.494	655	330	442	746

Após a extração dos dados, foi iniciada uma breve análise em busca de alguma anomalia que poderia distorcer o comportamento extraído dos processos executados. Neste passo, foram identificadas várias distorções que implicaram a diminuição da amostra de componentes a ser considerada na análise. Foi percebido que o registro de esforço para execução de alguns componentes não estava completo para todos os projetos. Por esta razão, optou-se pelo descarte de alguns componentes de processo dos projetos. Com este descarte, a amostra dos componentes de processo variou de três a sete registros. Por exemplo, para o

¹⁶ Em função do compromisso com a confidencialidade dos dados, foram omitidos os dados que identificam os projetos, os colaboradores que atuaram na execução dos projetos e os clientes de cada projeto.

componente de processo Criar Protótipo, apenas os registros dos projetos 2, 3 e 6 foram utilizados, para o componente de processo Monitorar Projeto foram utilizados os registros dos projetos 2, 4 e 6.

A importância desta análise pode ser constatada ao observar os dados do componente “Codificar”. A Tabela 6-3 apresenta os dados brutos obtidos para o referido componente. Pode-se constatar que o esforço do Projeto 4 apresenta um valor incoerente quando comparado aos demais projetos. Neste caso, o registro do Projeto 4 para o componente Codificar foi descartado.

Tabela 6-3. Dados brutos do componente “Codificar”

Projeto	Tamanho do Projeto	Esforço Projeto	Data Final	Equipe Executora	Esforço
Projeto 1	166	478,5	15/08/2011	Pessoa 3, Pessoa 24, Pessoa 16	313
Projeto 2	17	211,5	17/01/2012	Pessoa 23, Pessoa 30, Pessoa 31, Pessoa 29	39,5
Projeto 3	115	711,85	09/12/2011	Pessoa 32, Pessoa 33, Pessoa 16	241,3
Projeto 4	144	138,81	17/05/2012	Pessoa 35	1
Projeto 5	74	254,22	14/03/2012	Pessoa 16, Pessoa 32	95
Projeto 6	85	360,91	24/02/2012	Pessoa 16, Pessoa 33	138
Projeto 7	131	172,82	23/11/2011	Pessoa 29, Pessoa 23, Pessoa 32, Pessoa 33	84

6.3.2. A captura das influências no processo

No passo seguinte foi realizada a caracterização do comportamento de cada componente de processo por meio da aplicação do procedimento que captura a influência de eventos discretos nas medidas de interesse (seção 4.3.1).

A aplicação do procedimento foi descrita para o componente “Codificar” dada a sua representatividade com relação ao esforço de execução do projeto.

A. Conversão de medidas.

Não foi necessária realizar conversão de medidas, visto que a medida de interesse para a construção do modelo (o esforço) é dada em Homem-Hora.

B. Construção do histograma de caracterização da medida influenciada

O modelo de referência do instrumento proposto apresenta uma composição de medidas que determinam o esforço de execução de um componente de processo. O instrumento parte do princípio que os eventos discretos que atuam sobre o esforço o fazem indiretamente, pois

atuam, em primeira instância, sob as medidas que compõem este indicador. Dentre este conjunto de medidas que determinam o esforço, a produtividade pode ser considerada uma das mais suscetíveis às influências ao longo da execução do processo. Por esta razão selecionamos esta medida como referência para captura das influências durante a execução do componente.

Os dados brutos coletados não continham a medida de produtividade, que foi calculada a partir da razão entre o tamanho do projeto e do esforço realizado durante a execução da atividade (Tabela 6-4). Com a produtividade calculada, foi dada sequência à produção do histograma de acordo com os procedimentos pré-estabelecidos.

Tabela 6-4. Cômputo da produtividade para o componente “Codificar” em cada projeto

Projetos	Tamanho do Projeto	Esforço	Produtividade
Projeto 1	166	313	0,5303514377
Projeto 2	17	39,5	0,4303797468
Projeto 3	115	241,3	0,4765851637
Projeto 5	74	95	0,7789473684
Projeto 6	85	138	0,6159420290
Projeto 7	131	84	1,5595238095

A Tabela 6-5 apresenta o cálculo dos parâmetros necessários à construção do histograma referente à aplicação dos passos B1, B2, B3 e B4.

Tabela 6-5. Cálculo dos parâmetros necessários à construção do histograma

Parâmetro	Valor
Produtividade média	0,7319549259
Diferença entre o maior e o menor valor (dif)	1,082938646
número de blocos (nblocos)	3
Tamanho de cada bloco (dif/nblocos)	0,360979549
Bloco 1: (li; pc; ls)	(0,476585164; 0,657074938; 0,837564712)
Bloco 2: (li; pc; ls)	(0,837564712; 1,018054487; 1,198544261)
Bloco 3: (li; pc; ls)	(1,198544261; 1,379034035; 1,55952381)

O próximo passo (B5) consistiu no agrupamento da amostra em cada bloco (Tabela 6-6) para cômputo da frequência (passo B6), que foi calculada da seguinte forma:

Bloco 1: 5 projetos x (1/6) = 0,83333 (87%)

Bloco 2: 0 projetos x (1/6) = 0%

Bloco 3: 1 projeto x (1/6) = 0,16666 (17%)

Tabela 6-6. Blocos do histograma

Projetos	Produtividade	Bloco
Projeto 1	0,5303514377	1
Projeto 2	0,4303797468	1
Projeto 3	0,4765851637	1
Projeto 5	0,7789473684	1
Projeto 6	0,6159420290	1
Projeto 7	1,5595238095	3

A partir destes parâmetros, o histograma foi construído (Figura 6-4).

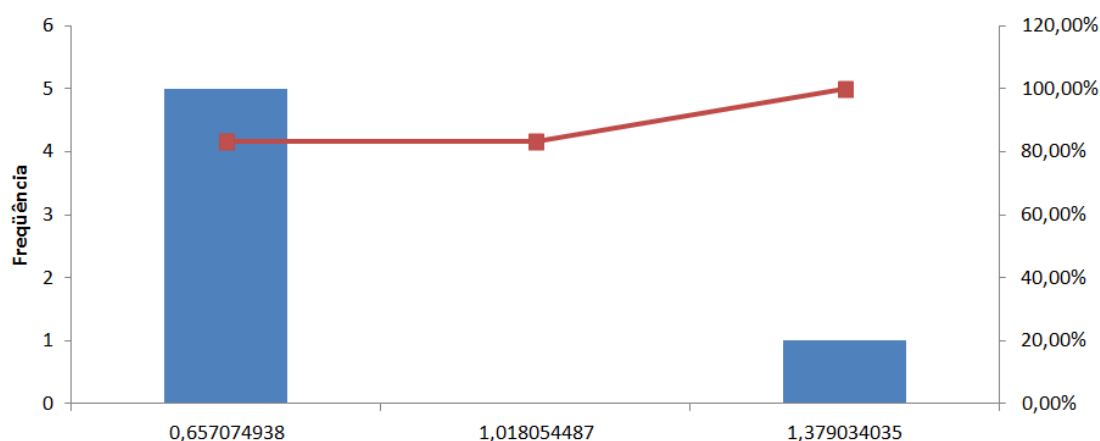


Figura 6-4. Histograma da produtividade para o componente “Codificar”

C. Cálculo da variação percentual da medida com relação à média

Este passo corresponde à última ação necessária para captura das influências que atuam na medida que está sendo analisada. O objetivo é determinar qual a probabilidade da *Produtividade* ser enquadrada em um dos blocos que caracterizam a sua distribuição. Para tal, calcula-se a diferença do limite de cada bloco com relação à produtividade média (Passo C1) e, em seguida, calcula-se o quanto estas diferenças correspondem em termos percentuais da produtividade média (Passo C2). Com estes parâmetros (Tabela 6-7), com base na amostra analisada, pode-se afirmar que: 83% dos projetos apresentam uma produtividade que varia entre -34,89% e 14,43% com relação à média; 17% dos projetos apresentam uma produtividade que varia entre 63,75% e 113,06%. Vale ressaltar que na caracterização da distribuição por meio do histograma não foram observados casos agrupados no bloco 2, para este caso o percentual é 0%.

Tabela 6-7. Cálculo da variação da produtividade com relação a média

Blocos	Limite Inferior (<i>li</i>)	Limite Superior (<i>ls</i>)	Produtividade Média (<i>média</i>)	PASSO C1		PASSO C2	
				<i>dif_mli</i>	<i>dif_mls</i>	<i>dif_mli/média</i>	<i>dif_mls/pmédia</i>
1	0,476585164	0,837564712	0,7319549259	-0,2553	0,1056	-34,89%	14,43%
2	0,837564712	1,198544261	0,7319549259	0,1056	0,4665	14,43%	63,75%
3	1,198544261	1,55952381	0,7319549259	0,4665	0,8275	63,75%	113,06%

Finda a execução do procedimento de caracterização do comportamento do componente do processo com relação à variação da *Produtividade*, baseados na premissa que existem eventos que atuam nesta medida, o conhecimento foi formalizado por meio do instrumento de representação das influências que atuam no componente (Tabela 6-8).

Tabela 6-8. Representação das influências que atuam no componente “Codificar”

Evento que influencia a execução do processo				
Nome do evento:		Influências na produtividade		
Componente do Processo:		Codificar		
Medida influenciada:		Produtividade		
Intensidade do Evento		Nível 1	Nível 2	Nível 3
Percentual influenciado na medida	Min.	-34, 89%	14,43%	63,75%
	Max.	14,43%	63,75%	113,06%
Probabilidade de Ocorrência [0-1]		83%	0%	17%

A representação da influência do evento que influencia o componente “Codificar” foi inserida no componente de software que compõe o instrumento proposto nesta tese. O instrumento requer que o processo padrão da empresa seja carregado a priori e que o conhecimento capturado sobre a variação do processo também seja informado. Estes procedimentos foram repetidos para todos os processos que compõem o processo padrão da organização.

A modelagem do processo foi realizada por meio de linguagem de programação Java, linguagem utilizada pela ferramenta Anylogic para permitir a construção de modelos. A Figura 6-5 ilustra a criação do componente “Codificar”, a criação do evento que influencia a execução do componente e a adição do evento ao componente.


```

//Cria o evento discreto que influencia a atividade Codificar
Evento eventoCodificar = new Evento();
eventoCodificar.adicionarProbabilidade(0.83,-0.3489,0.1443, "Nivel 1");
eventoCodificar.adicionarProbabilidade(0.0,0.1443,0.6375, "Nivel 2");
eventoCodificar.adicionarProbabilidade(0.17,0.6375,1.1306, "Nivel 3");
eventoCodificar.gerarAmostra();

//Cria o artefato
Artefato codigo = new Artefato();

//Cria o componente
ComponenteProcesso codificar = new ComponenteProcesso();
codificar.setNome("Codificar");
codificar.adicionarArtefatoConsumido(especificacao);
codificar.adicionarArtefatoProduzido(codigo);
codificar.setEquipe(desenvolvedores);
codificar.adicionarEvento(eventoCodificar);
codificar.adicionarDependencia(avaliarModelos);

```

Figura 6-5. Trecho de código do MSPS

A representação gráfica do processo também foi incluída no instrumento para facilitar a interação com o modelo à medida que seus parâmetros são manipulados e as simulações são realizadas. O processo é representado por um grafo acíclico direcionado, onde cada vértice representa um componente de processo e o sentido da conexão entre os vértices representa a ordem de execução dos componentes no processo. O vértice raiz (ou de origem) representa o primeiro componente de processo a ser executado. O vértice sumidouro, com grau de emissão zero, representa o último componente do processo a ser executado. Na Figura 6-6, por exemplo, o vértice raiz é o componente de processo Planejar Projeto e o vértice sumidouro é o componente de processo Homologar Software.

Pela análise da Figura 6-6, pode-se constatar que a representação do processo no MSPS não contém todas as atividades que constam no processo padrão. Foram feitas as seguintes mudanças:

- (i) A primeira atividade representada foi “Planejar Projeto”, que é executada após a aprovação do projeto pelo cliente. Neste ponto já há uma determinação do tamanho do software a ser desenvolvido e este tamanho é um insumo imprescindível para o cômputo dos indicadores do projeto;
- (ii) Não foram representados os processos de apoio (atividades de medição, garantia da qualidade e gerência de configuração). Estas atividades não atuam diretamente na transformação de artefatos que são incorporados ao produto e são consideradas como atividades de apoio no processo;

- (iii) Não foram representadas atividades que tratam do controle de mudança, que também são consideradas como atividades de apoio e são executadas apenas quando há necessidade de incorporar mudanças ao projeto;
- (iv) Também não foram representadas atividades que não pertencem ao processo padrão, mas que foram executadas por alguns projetos (ex.: migração de dados).

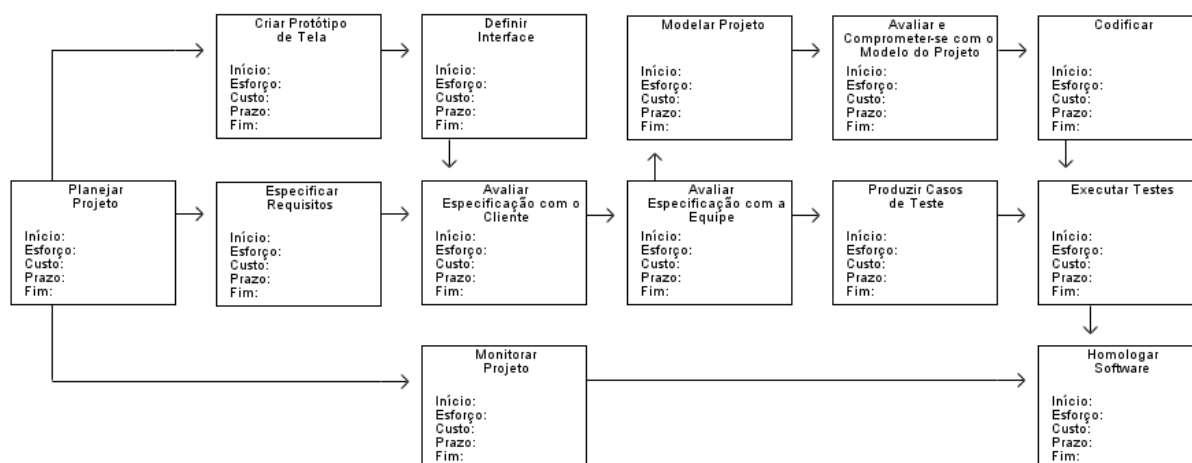


Figura 6-6. Representação do processo padrão da empresa no MSPS

Esta simplificação implicou o descarte de registros de esforço de atividades não representadas no modelo construído. Para efeito de avaliação, foi necessário ajustar o esforço total do projeto. Da mesma forma, para viabilizar a comparação das estimativas com os resultados da simulação, foram consideradas apenas as estimativas realizadas no planejamento para as atividades representadas pelo modelo. A tabela a seguir apresenta o esforço total realizado por cada projeto, o esforço excluído, que corresponde ao registro para as atividades não consideradas no instrumento e o esforço total ajustado, que será considerado na avaliação. Os registros excluídos para cada projeto foram listados no APÊNDICE E.

Tabela 6-9. Esforço ajustado dos projetos

Projetos	Esforço Total	Esforço Excluído	Esforço Ajustado
Projeto 1	478,5	18,5	460
Projeto 2	211,5	74,17	137,33
Projeto 3	711,85	156,76	555,09
Projeto 4	138,81	35,67	103,14
Projeto 5	254,22	37,61	216,61
Projeto 6	360,91	64,54	296,37
Projeto 7	172,82	36,92	135,9

6.3.3. A simulação

A próxima atividade do estudo foi o uso do instrumento para realizar a simulação para cada projeto da amostra. Vale ressaltar que seria interessante que a simulação ocorresse para um conjunto de projetos que não tivesse constituído a amostra de análise. Porém, a escassez de dados impossibilitou que isto fosse feito.

Cada rodada de simulação implicou a criação de uma amostra de 1000 projetos executados. Após a simulação foi realizada a comparação com o resultado obtido em cada projeto.

Cada projeto foi planejado na ferramenta de simulação conforme consta nos registros obtidos durante a extração de dados. Para facilitar o planejamento de cada projeto na ferramenta, os colaboradores que assumem cada papel na organização foram carregados a priori. Neste cadastro inicial, também foram incluídas as informações sobre a produtividade média no que tange a execução de cada componente, o custo hora de cada profissional no exercício do papel e a disponibilidade diária de cada colaborador para exercício do papel. A produtividade média utilizada foi a mesma computada durante a extração do comportamento de cada componente de processo. O custo hora incluído para cada profissional não corresponde ao valor real utilizado pela organização por questões de sigilo. A disponibilidade de todos os profissionais é de oito horas diárias. É importante acrescentar que estas informações são essenciais para o cômputo dos indicadores *Prazo*, *Esforço* e *Custo*, conforme definido no modelo de referência do instrumento descrito na seção 4.3.2.

Inicialmente, ao executar o instrumento, é carregado o processo padrão para permitir o planejamento do projeto a ser simulado. O usuário deve informar o tamanho do projeto, a data prevista para o início da execução do projeto, informar uma das restrições do projeto (esforço, prazo ou custo) e o valor máximo para que esta restrição seja atendida. Em seguida, o usuário deve selecionar a opção <ver detalhes> (link abaixo de cada componente de processo) para planejar cada componente individualmente.

O primeiro projeto simulado foi o Projeto 1, de tamanho 166, que foi iniciado em 12/08/2011¹⁷. Como não havia registro de restrições impostas ao projeto, incluímos a restrição

¹⁷ Data que corresponde ao início da execução do componente “Planejar Projeto”. A primeira ação do projeto foi em 20 de julho de 2011.

de esforço com valor limite de 460 (que foi o valor do projeto executado). A declaração da restrição não possui nenhuma influência no resultado da simulação para os indicadores Esforço, Custo ou Prazo. A restrição é utilizada pela ferramenta apenas para indicar quais as chances do projeto atender à restrição, com base no que foi planejado e nos resultados da simulação.

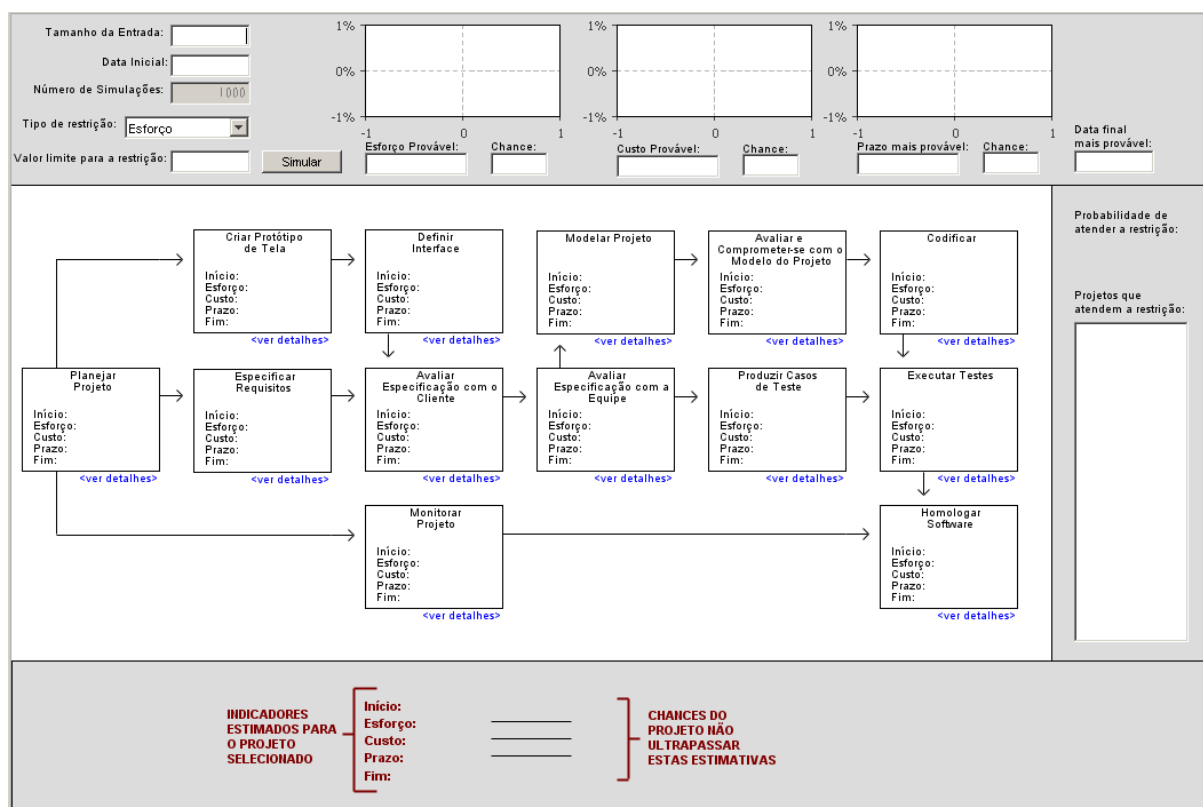


Figura 6-7. Tela inicial da ferramenta

Seguindo com a inclusão das informações do Projeto 1, cada componente de projeto foi planejado conforme as informações obtidas no DotProject. Após selecionar a opção <ver detalhes> do componente “Planejar Projeto”, foram incluídas as informações referentes aos colaboradores que foram alocados para participar do projeto (Figura 6-8). Neste caso, a pessoa alocada para executar o componente “Planejar Projeto” foi a “Pessoa 3”¹⁸. No momento da alocação, a ferramenta permite que os parâmetros dos colaboradores alocados sejam alterados. Após selecionar os colaboradores, o usuário pode simular a execução do componente de processo para análise do potencial desempenho do componente. O número de

¹⁸ Por questões de sigilo o nome das pessoas foi omitido.

execuções a ser considerado na simulação também pode ser definido pelo usuário. A Figura 6-8 apresenta a uma simulação realizada para 100 execuções do componente.

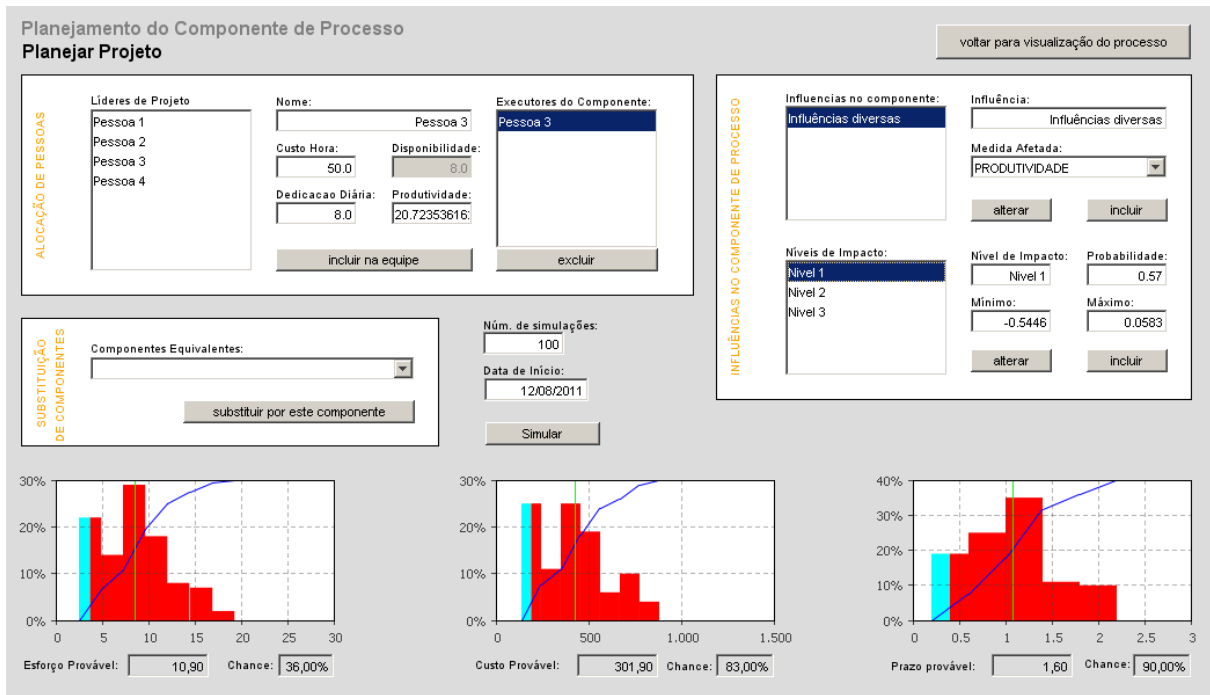


Figura 6-8. Planejamento do componente “Planejar Projeto”

O planejamento dos demais componentes foi realizado da mesma maneira. Nenhum parâmetro dos colaboradores foi alterado. À medida que o planejamento do projeto estava sendo feito, a ferramenta indicava aqueles componentes que ainda não haviam sido planejados (Figura 6-9).

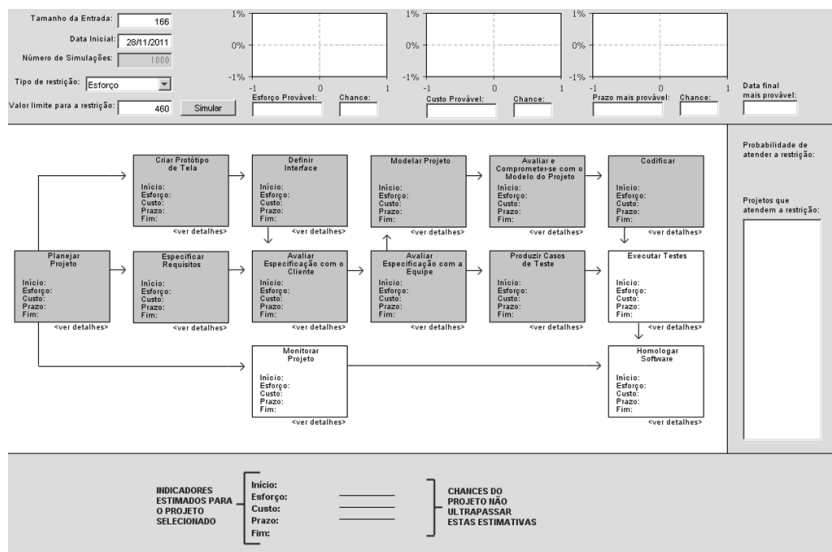


Figura 6-9. O instrumento com o indicativo dos componentes não planejados (em branco)

Ao concluir o planejamento de cada projeto, tal como constava no planejamento real, foram executadas simulações. Optou-se por realizar três rodadas de 1000 simulações para cada projeto. O indicador *Esforço Provável*¹⁹ de cada projeto foi obtido em cada rodada e houve o descarte do maior e do menor valor.

A Figura 6-10 ilustra a primeira rodada da simulação. Para o projeto selecionado, dentre o conjunto de projetos simulados que atende à restrição (listados na lateral direita da tela), é exibida a chance dos indicadores Esforço, Prazo e Custo não superarem as estimativas (informações na parte inferior da tela). O usuário pode navegar entre os projetos simulados, avaliar o desempenho de cada um e as chances deste desempenho ser atendido. A análise também pode ser feita para cada componente dos projetos simulados. A Tabela 6-10 apresenta o resultado das três rodadas de simulação para cada projeto.

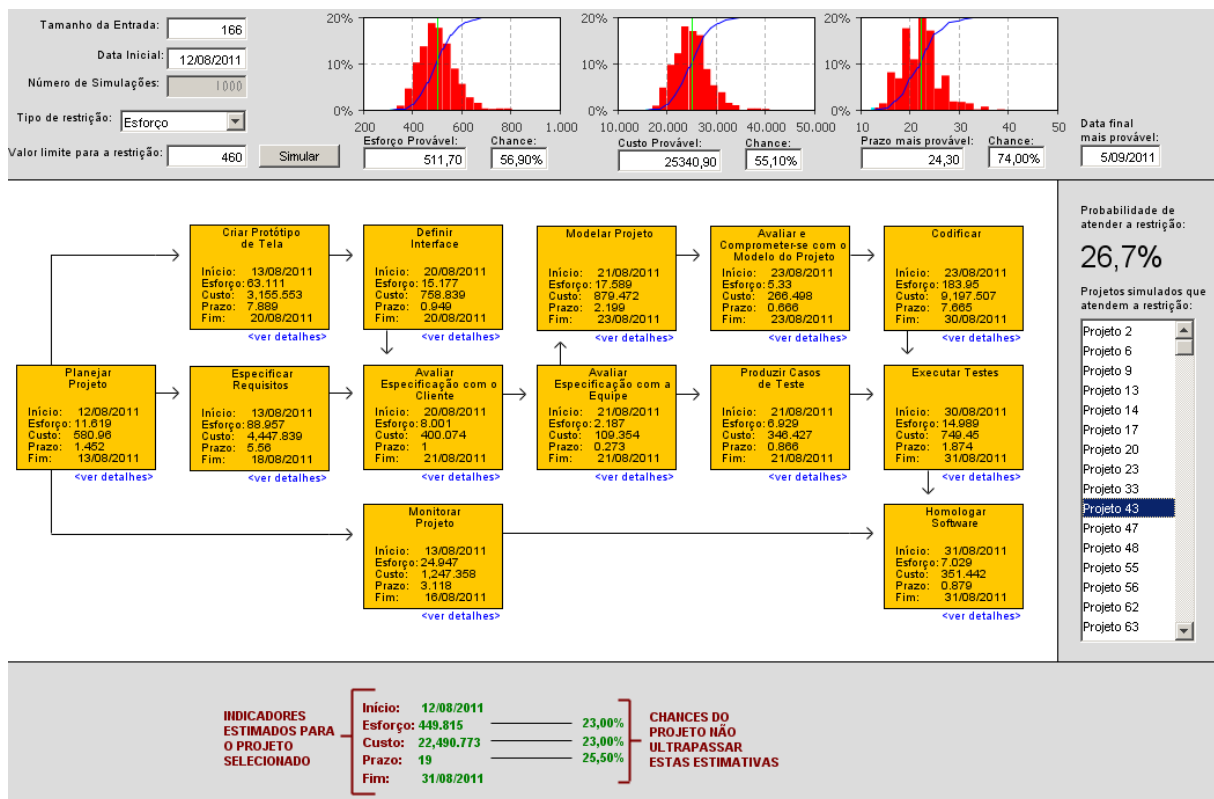


Figura 6-10. Primeira rodada de simulação para o Projeto 1

Ao simular o Projeto 2, percebeu-se uma grande discrepância entre o esforço provável e o esforço efetivamente realizado no projeto. O que mais chamou a atenção foi que além do

¹⁹ O esforço provável corresponde à medida da amostra simulada com maiores chances de ocorrer com base na distribuição gerada e a partir da caracterização das influências nas medidas que compõem o indicador

esforço estimado pela simulação ter ficado aquém da metade do esforço real do projeto, seis dos treze componentes de processo não possuíam registro de execução, o que poderia indicar que esta diferença poderia ter sido ainda maior. Ao analisar a simulação componente a componente, foi percebido que: (i) a soma do esforço simulado para os componentes que não possuíam registro (Definir Interface, Avaliar Especificação com o Cliente, Avaliar Especificação com a Equipe, Modelar Projeto, Avaliar e Obter o Comprometimento com o Modelo e Produzir Casos de Teste) correspondeu a um total de aproximadamente 8 HH, ou seja, menos de 10%, considerando o total efetivamente realizado; (ii) o componente que mais distorceu dos demais foi o componente Monitorar Projeto, que apresentou um esforço simulado de aproximadamente 1,5 HH e na realidade consumiu um esforço de 35,33 HH.

No Projeto 3, ao incluir a restrição de esforço para o esforço executado no projeto, o instrumento indicou uma chance de 100% para atendê-la. Este projeto não possuía registros de esforço para o componente “Monitorar Projeto”.

O Projeto 4 não apresentou chances de atender à restrição de esforço de 103,14 HH, que corresponde ao que consta como esforço realizado. Neste projeto, dez dos treze componentes de processo não possuíam registros de execução. Devido a essa ausência de dados, optou-se pela exclusão desse projeto na avaliação.

Tabela 6-10. Esforço provável para cada projeto da amostra nas rodadas de simulação

Projetos	1ª Rodada	2ª Rodada	3ª Rodada
Projeto 1	511,70	496,60	506,10
Projeto 2	51,60	49,60	52,90
Projeto 3	338,30	358,50	361,70
Projeto 4	495,10	474,60	446,60
Projeto 5	245,40	227,30	230,60
Projeto 6	264,30	273,30	262,30
Projeto 7	397,70	388,10	385,50

O Projeto 5 apresentou uma chance entre 50 e 55% de atender à restrição de esforço declarado (esforço executado do projeto). Neste projeto os registros dos componentes “Criar Protótipo de Tela” e “Monitorar Projeto” não haviam sido realizados.

No Projeto 7, ao informar a restrição de esforço com o valor do esforço real registrado no projeto (172,82), a ferramenta informou que não havia chance de atender à restrição. A restrição passou a ser atendida a partir do valor de esforço de 270 HH, com 0,1% de chance. O projeto não apresentou registros de esforço para os componentes do processo: “Criar Protótipo de Tela”, “Avaliar e Obter Comprometimento com o Modelo” e “Monitorar

Projeto”. Mesmo assim, dada a discrepância foi realizada uma análise componente a componente. Foi identificado que para os componentes Planejar Testes, Modelar Projeto e Codificar Software, os registros realizados apresentavam uma diferença significativa dos componentes dos demais projetos. Este projeto foi o único desenvolvido com a linguagem PHP. Entretanto, não foi possível atribuir esta diferença ao uso da linguagem.

Ao computar a medida percentual do erro absoluto para cada projeto, foi obtida uma *Magnitude Média do Erro Relativo* (MMER) de 0,517868444, ou seja, na média, o erro da estimativa simulada foi de 51,78%.

Tabela 6-11. Cálculo da magnitude do erro relativo para cada projeto

Projetos	Esforço Simulado	Esforço Ajustado	MER
Projeto 1	506,1	460	0,100217391
Projeto 2	51,6	137,33	0,624262725
Projeto 3	358,5	555,09	0,354158785
Projeto 5	230,6	216,61	0,064586123
Projeto 6	264,3	296,37	0,108209333
Projeto 7	388,1	135,9	1,855776306
MMER:			0,517868444

Ao analisar a medida MMER obtida para cada estimativa, percebe-se que o Projeto 7 apresenta valor discrepante. No gráfico de dispersão ilustrado na Figura 6-11 esta discrepância fica mais nítida.

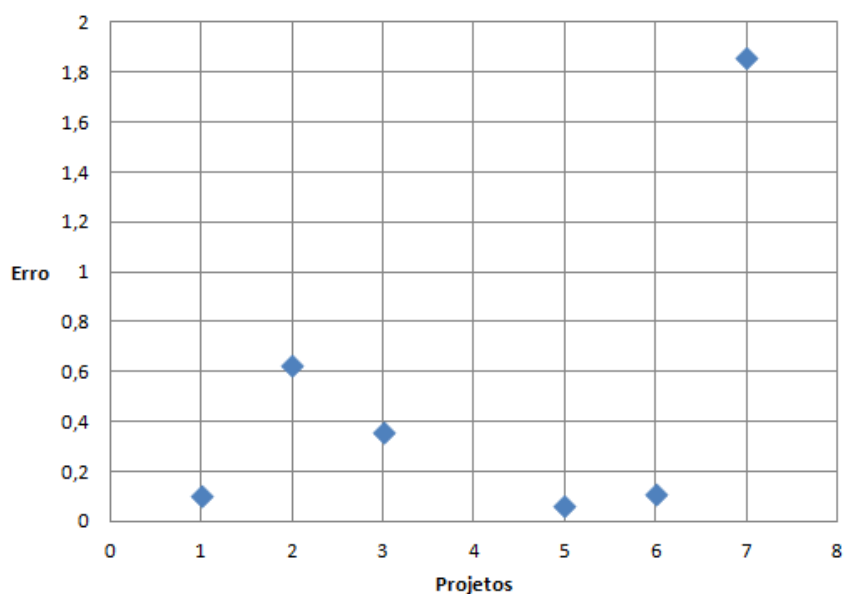


Figura 6-11. Gráfico de dispersão do erro absoluto

Com a exclusão do projeto da amostra de comparação, MMRE cai para 0,250286871, isto é, 25,02%, medida de erro considerada aceitável por (CONTE *et al.*, 1986).

6.3.4. Dificuldades para realização da avaliação

A escassez de dados restringiu a caracterização do comportamento do processo. Quanto menor o conjunto de dados, maior a dificuldade para capturar as influências que atuam no processo e incluí-los no instrumento. Além disso, a ausência de dados dificultou o processo de avaliação da acurácia do modelo, visto que impediu que fossem aplicados procedimentos experimentais que impõem maior rigor à avaliação, como a aleatoriedade da amostra, o agrupamento aleatório dos elementos da amostra de análise e amostra de teste, dentre outros.

A heterogeneidade dos dados também aumentou a incerteza embutida no modelo. Para alguns componentes de processo foi observada uma grande variação nas medidas individuais de cada componente dos projetos. No Projeto 7, por exemplo, para o componente “Codificar”, que é representativo sob o ponto de vista do esforço investido, a produtividade foi o dobro da produtividade do segundo melhor. No “Modelar Projeto”, a produtividade foi quase o triplo do segundo melhor. Esta variação foi refletida diretamente na amostra simulada e, conseqüentemente, influenciou a precisão do modelo sob o ponto de vista das estimativas de cada componente de processo e do processo simulado como um todo. Caso a amostra fosse mais homogênea é provável que o erro do modelo fosse menor.

A obtenção e organização dos dados brutos dos projetos foi uma atividade realizada manualmente e requereu um esforço adicional para verificação e correção dos erros em função da manipulação. O software desenvolvido, que faz parte do instrumento proposto nesta tese, não foi dotado da capacidade de importar o processo padrão automaticamente, a partir do repositório de dados da organização. Portanto, o processo padrão da organização teve que ser inserido manualmente. Esta capacidade poderá ser incorporada em um trabalho futuro.

6.4. Avaliação de Utilidade sob a Ótica da Gerência Quantitativa

Uma vez que as simulações indicaram que o instrumento pode apresentar resultados que podem auxiliar os gerentes de projeto a avaliarem o desempenho potencial de um projeto a ser executado, foi planejado um estudo para verificar a utilidade da ferramenta sob o ponto de vista do usuário. Mesmo que a ferramenta fosse capaz de prover resultados úteis à tomada

de decisão, o grau de utilidade percebido pelo usuário poderia ser um obstáculo ao uso durante o planejamento de projetos.

Sendo assim, é necessário verificar se a perspectiva do pesquisador sobre o grau de utilidade do instrumento corresponde à perspectiva do usuário. Neste contexto, o grau de utilidade refere-se ao quão útil o instrumento pode ser sob a ótica da Gerência Quantitativa. A premissa é que quanto maior a quantidade de características atendidas pelo instrumento, maior será sua utilidade na adoção de práticas de Gerência Quantitativa, que inclui a avaliação do desempenho potencial de projetos de software.

O objetivo da avaliação está declarado na Tabela 6-12, utilizando o modelo GQM.

Tabela 6-12. Objetivo do estudo de caso

Analisar	o instrumento proposto
Com o propósito de	avaliar
Com relação à	ao grau de utilidade
Do ponto de vista do	usuário
No contexto da	Gerência Quantitativa aplicada ao planejamento de projetos de software

Sendo assim, o grau de utilidade da ferramenta será medido pela razão entre o número de percepções das características dos participantes e o número total de percepções possíveis de todas as características incorporadas no instrumento durante sua concepção.

Portanto, o grau de utilidade (*util*) é dado por: $util = npp/ntp$, onde *npp* representa o número de percepções dos participantes e *ntp* representa o número total de percepções possíveis.

6.4.1. Plano do estudo

Para avaliar o instrumento com relação ao conjunto de características desejáveis para modelos de desempenho é preciso ter conhecimento. O conhecimento sobre modelos de desempenho é restrito a pessoas que atuam em projetos de software aplicando práticas de Gerência Quantitativa ou que tenham participado de cursos de formação específica para o uso de técnicas quantitativas para gerência de projetos. Portanto, para que os participantes pudessem caracterizar o instrumento, foi planejado um treinamento com foco nos conceitos de Gerência Quantitativa.

O conteúdo definido para o treinamento foi restrito ao objetivo da Gerência Quantitativa aplicada à projetos de software e à discussão sobre os seguintes conceitos:

objetivos de desempenho de projetos, indicadores de desempenho, capacidade de processo, subprocesso/componentes de processo e limites naturais do processo.

Um teste com oito questões foi definido para avaliar o grau de conhecimento de cada participante nos conceitos de Gerência Quantitativa apresentados no treinamento (o teste consta no APÊNDICE F). O participante poderia responder cada questão diretamente ou indicar que não possuía conhecimento para entender a questão ou que havia entendido a questão, mas não sabia o que precisava ser feito para respondê-la.

A aplicação do teste estava prevista para ser realizada em três momentos: antes do treinamento, depois do treinamento e após um exercício com o instrumento. O objetivo do teste era avaliar se os participantes possuíam conhecimento suficiente para perceber as características providas pelo instrumento.

Também foi elaborado um questionário a ser respondido pelos participantes após a realização do exercício com o instrumento (APÊNDICE G). O questionário foi concebido a partir das características desejáveis para modelos de desempenho que, sob o ponto de vista do pesquisador, são atendidas pelo instrumento. Para responder o questionário, bastaria o participante indicar a presença ou não de determinada característica com um 'X'. Uma das alternativas possibilitava a indicação que nenhuma da característica foi percebida no instrumento.

Também foi planejada a realização de um exercício no uso do instrumento para apresentar o seu funcionamento, isto é, apresentar os passos para realizar a simulação e os resultados providos pelo instrumento.

O instrumento continha o processo da empresa e estava calibrado conforme descrito na seção 6.3. Estava previsto que os testes e o exercício seriam realizados com um dos projetos da organização, a depender da escolha dos participantes.

Com relação à seleção das pessoas que deveriam participar do estudo, foi estabelecido que todos deveriam ter exercido o papel de líder de projeto na organização (papel responsável pelo planejamento e controle dos projetos na organização) e teriam que ter executado projetos com o processo padrão vigente. Todos os profissionais da organização que exerceram ou exercem o papel foram convidados pelo superior imediato na organização, porém apenas sete indicaram que teriam disponibilidade para participar.

6.4.2. Riscos à Validade

Participação do pesquisador. O pesquisador atuou durante todo o processo. Isto pode ter influenciado os resultados, visto que, de forma não consciente o pesquisador pode ter influenciado o comportamento dos participantes durante o estudo. Para minimizar esta provável influência foi estabelecido que o questionário de avaliação não deveria ser preenchido na presença do pesquisador.

Realidade limitada. Embora tenha sido utilizado um projeto da própria empresa para realização do exercício, o uso do instrumento não implicou o planejamento de um projeto a ser realmente executado. Este fato pode ter contribuído com a diminuição da atenção dos participantes com relação aos resultados providos pelo instrumento.

Foco nas características de modelos de desempenho. O questionário responsável pela captura das percepções do participante continha uma lista fechada com as características de interesse. Isto poderia levar o participante a indicar uma ou mais características, mesmo sem que ele tivesse o entendimento sobre o que ela representa. O questionário foi acrescido de uma alternativa que o participante pudesse indicar que não percebeu nenhuma das características.

Ausência de conhecimento em conceitos relacionados à Gerência Quantitativa. Para caracterizar o instrumento com relação às características desejáveis para modelos de desempenho é necessário conhecimento em Gerência Quantitativa. Sem este conhecimento é possível que características do instrumento não sejam percebidas ou entendidas pelos participantes. O treinamento planejado tinha o propósito de mitigar este risco.

6.4.3. Execução do Estudo

Todos os participantes que se dispuseram a participar (sete) estavam presentes, sendo que um deles não participou de todas as atividades e não respondeu a todos os testes. Diante do fato, optou-se por não considerar os dados providos por ele na amostra. Para título de análise, apenas seis participantes foram considerados.

Inicialmente, foi feita uma apresentação do plano do estudo a ser realizado. No primeiro momento foram tratadas questões éticas, de sigilo e de confidencialidade dos dados coletados ao longo do estudo. Logo após, foi apresentado o roteiro do plano de execução do estudo e foi iniciada a seleção do projeto a ser utilizado como exemplo. Em seguida, um dos participantes,

o que foi líder no projeto selecionado para uso no exercício, fez um relato sobre o projeto caracterizando o seu tamanho, a data de início, os riscos identificados, as características do cliente, as características da equipe disponível e outras informações.

Após o breve relato sobre o projeto a ser utilizado como exemplo, os participantes receberam o primeiro teste a ser respondido. Depois que todos terminaram de responder os testes, foi dado início ao treinamento. Os conceitos relacionados à Gerência Quantitativa foram apresentados e discutidos com os participantes. O tempo alocado para o treinamento foi de 45 minutos. Concluído o treinamento, foi distribuído o segundo teste, idêntico ao primeiro, para ser respondido pelos participantes.

Em seguida, foi iniciado o exercício com o uso do instrumento. O exercício foi realizado tal como planejado. Primeiro foi apresentado cada passo necessário para simular um projeto e, logo após, foram apresentados os resultados providos pelo instrumento para cada simulação realizada.

Findo o exercício com o instrumento, o terceiro teste foi aplicado e logo após o questionário foi distribuído entre os participantes. O questionário não foi respondido na presença do pesquisador, mas foi entregue no mesmo dia.

6.4.4. Análise dos Resultados

Antes de analisar a caracterização do instrumento, convém analisar os resultados obtidos com o treinamento fornecido sobre conceitos relacionados à Gerência Quantitativa.

Cada rodada de testes geraram 48 respostas (seis participantes x oito questões). Para cada questão havia quatro resultados possíveis: “Não tinha conhecimento para entender a questão”, “Entendeu a questão, mas não sabia o que fazer para respondê-la”, “Resposta não alinhada aos conceitos da Gerência Quantitativa” e “Resposta alinhada aos conceitos de Gerência Quantitativa”. A resposta “não alinhada aos conceitos de Gerência Quantitativa” significa que embora o participante tenha respondido, não foi observada uma relação da resposta com as práticas ou conceitos relacionados à Gerência Quantitativa.

A Tabela 6-13 apresenta os resultados obtidos antes do treinamento. 65% das respostas indicaram que os participantes não tinham conhecimento para entender a questão, não houve nenhuma resposta alinhada aos conceitos da Gerência Quantitativa, 8% das respostas dadas não estavam alinhadas aos conceitos da Gerência Quantitativa.

Tabela 6-13. Respostas obtidas no teste realizado anterior ao treinamento

Respostas	Total	Percentual
Não tinha conhecimento para entender a questão	31	65%
Entendeu a questão, mas não sabia o que fazer para respondê-la	13	27%
Resposta não alinhada aos conceitos da Gerência Quantitativa	4	8%
Resposta alinhada aos conceitos de Gerência Quantitativa	0	0%

Após o treinamento, em uma resposta (2%) havia o indicativo que o participante ainda não tinha conhecimento para entender a questão. 38% das questões foram respondidas de forma alinhada aos conceitos da Gerência Quantitativa e 44% foram respondidas de forma não alinhada aos conceitos da Gerência Quantitativa (vide Tabela 6-14).

Tabela 6-14. Respostas obtidas no teste realizado após o treinamento

Respostas	Total	Percentual
Não tinha conhecimento para entender a questão	1	2%
Entendeu a questão, mas não sabia o que fazer para respondê-la	8	17%
Resposta não alinhada aos conceitos da Gerência Quantitativa	21	44%
Resposta alinhada aos conceitos de Gerência Quantitativa	18	38%

O teste também foi aplicado após a realização do exercício com o instrumento (Tabela 6-15). Foi observado que o número de respostas alinhadas aos conceitos de gerência quantitativa aumentou de 38% para 50%. Neste ponto, nenhum participante indicou que não havia conhecimento para entender as questões do teste.

Tabela 6-15. Respostas obtidas no teste realizado após o exercício com o instrumento

Respostas	Total	Percentual
Não tinha conhecimento para entender a questão	0	0%
Entendeu a questão, mas não sabia o que fazer para respondê-la	5	10%
Resposta não alinhada aos conceitos da Gerência Quantitativa	19	40%
Resposta alinhada aos conceitos de Gerência Quantitativa	24	50%

Observando o quantitativo das respostas indicadas nos questionários de caracterização do instrumento (vide

Tabela 6-16), nota-se que todos os participantes perceberam alguma característica. As características (i) e (iii) foram percebidas por todos os participantes. As características (iv) e (vi) foram percebidas por cinco participantes. A característica menos evidente aos participantes foi a (vii), que teve o indicativo de apenas uma pessoa.

Tabela 6-16. Quantitativo das respostas do questionário de caracterização

Características	Respostas	Percentuais
i) É probabilístico, estatístico ou baseado em simulação e trata a incerteza dos fatores que podem influenciar a execução do processo e seus impactos nos indicadores de desempenho	6	100%
ii) Prediz resultados intermediários e/ou finais do projeto	4	66,67 %
iii) Possibilita avaliar se determinadas alterações no planejamento do projeto surtirão o efeito desejado aos resultados do projeto	6	100%
iv) Quantifica a variação dos fatores que influenciam o processo, a incerteza e o intervalo de variação dos indicadores de desempenho	5	83,33%
v) Permite análises do tipo "o que acontece se" para o planejamento do projeto, replanejamento dinâmico e resolução de problemas durante a execução do projeto	4	66,67%
vi) Propaga efeitos entre atividades do processo	5	83,33%
vii) Habilita a realização de correções ao longo da execução para assegurar o sucesso do projeto	1	16,67%
viii) Nenhuma das características acima foi percebida	0	0%

Vale lembrar que, de acordo com o discutido no capítulo 2, estas características são ditas “desejáveis” por aumentarem a utilidade do modelo de desempenho ao aplicar práticas de Gerência Quantitativa durante o planejamento e execução dos projetos de software.

Então, conforme definido inicialmente, o grau de utilidade do instrumento, sob a ótica da Gerência Quantitativa, seria mensurado pela razão entre o número de percepções dos participantes para todas as características ($npp = 31$), e o número total de percepções possíveis ($ntp = 6 \times 7 = 42$).

Calculando o grau de utilidade (*util*), temos que:

$$util = \frac{npp}{ntp} = \frac{31}{42} = 0,738 = 73,8\%$$

Sendo assim, pode-se afirmar que o instrumento proposto nesta tese, segundo a percepção do usuário, possui um grau de utilidade de 73,8%, o que pode significar que os participantes não utilizariam todo o potencial do instrumento para apoiar a adoção de práticas da Gerência Quantitativa, quer seja porque o instrumento não provê tais características de forma explícita e de fácil utilização ou pelo fato do treinamento ter sido insuficiente para que todos os participantes percebessem todas as características.

6.5. Considerações Finais

Este capítulo apresentou dois estudos realizados em uma organização de software com o objetivo de avaliar o instrumento proposto nesta tese com relação à capacidade de reproduzir o comportamento dos projetos de uma organização e aferir o grau de utilidade do instrumento proposto sob a ótica da Gerência Quantitativa.

Com relação à capacidade de reproduzir o comportamento dos projetos, foi observado que:

- Desconsiderando o projeto que apresentou discrepância com relação aos demais, o erro do modelo foi de 25,02%, medida considerada satisfatória por (CONTE *et al.*, 1986);
- A operação do estudo, que incluiu a obtenção e organização dos dados e a caracterização do comportamento de cada componente de processo, demandou um grande esforço. A suscetibilidade aos erros amplificou a necessidade de investir um esforço adicional de verificação. Alguns erros foram percebidos apenas durante a operação da simulação. Nestes casos, houve necessidade de repetir todo o procedimento de caracterização do comportamento dos componentes afetados pelo erro e retificar as informações inseridas no instrumento;
- Outra forma de aprimorar a acurácia do modelo discutido neste capítulo seria por meio da incorporação das medidas individuais de produtividade para cada colaborador. Nesta avaliação, o nível de granularidade extraído foi o de componente de processo. Contudo, em um cenário farto sob o ponto de vista de dados, seria possível caracterizar as influências nas produtividades individuais de cada colaborador aplicando os mesmos procedimentos definidos no instrumento.

Sob a ótica da Gerência Quantitativa, foi observado que o grau de utilidade do instrumento é de 73,8%, o que indica que nem todos os participantes perceberam todas as características que apoiam a ampla adoção de práticas de Gerência Quantitativa de projetos de software.

Capítulo 7. Conclusão

Este capítulo sintetiza os resultados obtidos durante o desenvolvimento desta tese e enfatiza as contribuições. Também são mencionadas as limitações do instrumento proposto e outras questões que apontam direções para trabalhos futuros.

7.1. Introdução

A diversidade inerente aos processos de desenvolvimento de software (LINDVALL e RUS, 2000), o conjunto de características que podem influenciar a execução dos projetos (FENTON e PFLEEGER, 1997), a quantidade de eventos que podem ocorrer durante a condução dos projetos e sua natureza sociotécnica (DONZELLI, 2006), são aspectos que tornam o planejamento de projetos uma atividade complexa, que envolvem análise de possibilidades que são baseadas no conhecimento incompleto e impreciso (CHARETTE, 2005).

Há uma variedade de ferramentas que se propõem a auxiliar os gerentes de projeto durante o planejamento, como o raciocínio baseado em casos (VASUDEVAN, 1994), sistemas de recomendação (YANG e WANG, 2009; BARRETO e ROCHA, 2010), modelos paramétricos (BOEHM *et al.*, 1995; FISCHMAN *et al.*, 2005), o julgamento do especialista (JØRGENSEN, 2007), modelos probabilísticos (FENTON *et al.*, 2004; PENDHARKAR *et al.*, 2005), assistentes inteligentes (WU e SIMMONS, 2000), abordagens baseadas em otimização (BARRETO *et al.*, 2008a; LOGUE e MCDAID, 2008), metaheurísticas (CHICANO *et al.*, 2011), métodos estatísticos (LOGUE e MCDAID, 2008), dentre outras. Entretanto, estes instrumentos não proveem mecanismos que facilitem a observação de como os elementos constituintes do processo interagem ao longo de sua execução; não proveem uma análise sobre as chances de atender às restrições de esforço, custo ou prazo para uma determinada configuração de projeto e não permitem que esta análise seja feita em dois níveis (no âmbito do projeto e no âmbito de cada componente que compõe o processo do projeto).

A simulação de processos de software, quando aplicada para análises do tipo “o que acontece se”, pode capturar parte da complexidade que envolve a execução de projetos de

software e auxiliar a tomada de decisão (RUS *et al.*, 1999; PFAHL e LEBSANFT, 2000b; ANDERSSON *et al.*, 2002; DONZELLI, 2006), (RAFFO e VANDEVILLE, 2006; KIRK e MACDONELL, 2009).

Diante deste contexto, foi definida uma questão que norteou as ações de pesquisa desta tese: **Como avaliar o desempenho potencial dos projetos, com relação aos indicadores custo, esforço e prazo, por meio do uso de modelos de simulação de processos de software?**

Para responder a questão de pesquisa, inicialmente foi realizada uma revisão da literatura em busca de instrumentos que pudessem apoiar à predição e, conseqüentemente, auxiliar a avaliação do desempenho potencial de projetos de software. Foi identificado um conjunto de critérios que um instrumento deveria atender para apoiar a predição sob a ótica da Gerência Quantitativa (STODDARD-II e GOLDENSON, 2010).

A simulação de processos de software foi identificada como a abordagem mais adequada para atender a todos os critérios, porém, havia uma série de obstáculos ao uso de simulação:

- (i) O conhecimento requerido no domínio de Engenharia de Software para definição do modelo;
- (ii) O conhecimento requerido em simulação para construção do modelo definido;
- (iii) A necessidade de dados históricos para prover acurácia ao modelo; e
- (iv) A variabilidade inerente aos processos de software, que estão sujeitos a múltiplas influências a cada execução.

Organizações de alta maturidade, com disponibilidade de recursos, com especialistas em simulação e em Engenharia de Software e com uma vasta carteira de clientes, são capazes de desenvolver modelos que auxiliem a adoção plena de práticas da Gerência Quantitativa. Porém, este não é o perfil das empresas brasileiras de software, cuja maioria ainda está nos estágios iniciais de maturidade (TRAVASSOS e KALINOWSKI, 2012).

Então, para viabilizar o uso de simulação em empresas que ainda estão buscando a maturidade em seus processos, foi proposto um instrumento capaz de suplantiar os obstáculos

supracitados e permitir a avaliação do desempenho potencial de projetos de software com o uso de simulação de processos de software.

Para tratar o problema do conhecimento em Engenharia de Software para definição do modelo, o instrumento utiliza o processo padrão como principal fonte de conhecimento sobre o modo de operação dos projetos e incorpora um modelo de referência específico para processos de software. Este modelo de referência contém a relação entre um conjunto de indicadores de desempenho (custo, prazo e esforço) e as demais medidas que compõe estes indicadores. Assim, o conhecimento requerido para definição do modelo foi embutido no instrumento.

Com relação ao conhecimento em simulação, foi construído um micromodelo que representa o comportamento de um componente de processo de software e que está baseado no modelo de referência que foi definido. Com este micromodelo, a construção de um modelo de simulação consiste na concatenação de microcomponentes de simulação de processos de software, o que diminui a complexidade e a necessidade de conhecimento em simulação.

A escassez de dados foi tratada com o uso do conceito de componentes de processo. Ao invés de obter dados históricos de projetos executados integralmente, optou-se por obter dados históricos dos componentes de processo que constituíram cada processo definido executado. Desta forma, mesmo que dois projetos tenham sido executados com processos diferentes, caso estes projetos tenham utilizado o mesmo componente de processo em alguma das etapas, a base histórica contará com dois registros de execução para o componente, ao invés de considerar um registro para processo definido. A utilização deste conceito também permitiu tratar a variabilidade, visto que, com um número maior de registros é possível caracterizar melhor o desempenho de cada componente, o que pode refletir na acurácia do modelo de simulação como um todo.

A variabilidade também foi tratada com a representação e incorporação do conhecimento tácito e explícito sobre os eventos que podem influenciar a execução dos processos. O instrumento possui um mecanismo que orienta a captura da variabilidade do comportamento dos componentes a partir da base histórica e a introdução deste comportamento no modelo a ser simulado. Também é possível que o próprio usuário registre o conhecimento tácito sobre os eventos que podem incidir no projeto e, da mesma forma, este conhecimento também é incorporado no modelo a ser simulado. Cada evento pode ser

vinculado a cada componente de processo do processo definido para o projeto e cada componente de processo pode ser associado a um número indefinido de eventos, a critério do usuário.

Após a concepção do instrumento foram realizadas avaliações com o propósito de aferir sua capacidade preditiva com relação a outros modelos de estimativa, verificar sua capacidade preditiva no contexto de uma organização no nível F do MR-MPS e avaliar se os usuários seriam capazes de perceber o conjunto de características providas pelo instrumento.

Com as avaliações realizadas foi observado que:

- Considerando as limitações do estudo comparativo, existe a possibilidade de equivalência entre as estimativas de esforço do instrumento proposto e àquelas providas por modelos de estimativa de esforço de bom desempenho. Na tentativa de refutar esta hipótese o estudo foi inconclusivo, pois a diferença identificada não foi suficiente para construir tal evidência. Portanto, não se descarta a possibilidade **do instrumento apresentar uma capacidade preditiva equivalente a de outros modelos de estimativa de esforço;**
- O erro de 25,02%, obtido a partir da simulação dos dados de uma organização em níveis iniciais de maturidade (Nível F do MR-MPS), pode ser considerado aceitável (CONTE *et al.*, 1986). Então, **existe a possibilidade que o instrumento possa prover resultados aceitáveis quando utilizado em organizações em níveis iniciais de maturidade;**
- A percepção dos usuários com relação às características que aumentam a utilidade do instrumento sob a ótica da Gerência Quantitativa foi de 73,8%. Tendo em vista os riscos à validade observados neste estudo, pode se conjecturar que **o instrumento proposto pode atender a boa parte das características desejáveis para modelos de desempenho que são efetivamente uteis na adoção de práticas de Gerência Quantitativa, inclusive a avaliação do potencial de desempenho de projetos de software.**

7.2. Contribuições

Esta pesquisa desenvolveu um instrumento capaz de:

- Indicar as chances que o projeto possui de atingir os objetivos de desempenho definidos em termos de esforço, prazo e custo, sem que o usuário tenha que possuir conhecimento em técnicas estatísticas, probabilísticas ou de simulação;
- Prover mecanismo de análise *trade-off* durante o planejamento de projetos, tanto no nível do processo definido para o projeto, quanto ao nível de componente de processo;
- Facilitar a identificação de componentes de processos críticos para o alcance dos objetivos de negócio;
- Incorporar o conhecimento tácito e explícito a cerca dos eventos que podem influenciar a execução de cada componente de processo e permitir a observação dos efeitos destes eventos ao longo de todo o processo definido do projeto por meio da simulação;
- Apoiar as exigências da alta maturidade com relação à Gerência Quantitativa.

Sob a ótica da Gerência de Riscos, o instrumento possibilita que o gerente de projetos observe quantitativamente o impacto da ocorrência de um evento de forma pontual (nos indicadores de um componente do processo no qual o evento incide) ou de forma global (nos indicadores do projeto como um todo) e avaliar a necessidade de realizar mitigações. Este trabalho também trata a limitação da abordagem proposta por (BARROS, 2001), que não possibilitava a simulação de mais de um modelo de risco por vez e inviabilizava a análise conjunta da ocorrência de múltiplos eventos em diversos componentes de processo durante a simulação.

Indiretamente, esta tese também tratou de um aspecto que vem sendo discutido no âmbito da simulação de processos de software, a questão da legibilidade dos resultados da simulação por meio de animações (AGARWAL, 2011). Embora não tenha sido feita uma avaliação deste aspecto, é possível que os recursos providos pelo software que compõe o instrumento tenham facilitado o entendimento do usuário, e conseqüentemente, tenham contribuído na avaliação do grau de utilidade do instrumento proposto.

7.3. Limitações Observadas

O escopo de resultados possíveis para simulação de cada componente está restrito ao universo dos dados das medidas utilizadas para extração do comportamento do processo. Isto restringe a variação do desempenho de cada componente de processo a um universo válido, porém limitado à observação histórica. Portanto, o conjunto de resultados providos pela simulação não é completo e deve ser amplificado à medida que novos dados sejam incorporados à base histórica da organização.

O instrumento captura as influências que atuam nas medidas que compõem os indicadores e permitem a incorporação destas influências de forma probabilística no processo de simulação. Caso a organização não possua dados históricos sobre as influências que atuam nas medidas, este conhecimento pode ser provido pelo especialista na condução de projetos da organização. A inexistência de dados e a inexistência de especialistas na execução de projetos comprometem a precisão dos modelos construídos.

Na caracterização do comportamento do processo com o uso do instrumento proposto nesta tese, não foi realizada nenhuma ação com a intenção de capturar os efeitos da inclusão de defeitos. Caso um colaborador execute o componente com esforço X e precise de mais um esforço Y para corrigir o que foi construído, a produtividade é computada pela razão $Tamanho/(X+Y)$. Ao final do projeto, o indicador *Esforço* também contém o esforço requerido para retificar os produtos de trabalho. Entretanto, mesmo que o indicador de esforço de correção esteja embutido, ele não é capaz de capturar o quantitativo de defeitos que serão entregues (defeitos latentes) ao cliente ou de propagar o efeito da inclusão de defeitos em cada etapa do processo.

Os efeitos, como os mencionados por (BROOKS JR., 1995), que sugere que a ação de incluir novos colaboradores na equipe está associada com o aumento do prazo de entrega, não foram considerados pelo instrumento. Portanto, ao incluir novos colaboradores para executar o mesmo componente do processo, a produção diária da equipe é incrementada de forma proporcional. A influência da interação dos colaboradores na produtividade pode ser considerada um **evento contínuo** que influencia o componente ao longo de sua execução. A influência dos eventos contínuos, como o efeito do aprendizado ao longo da execução do projeto (HANAKAWA *et al.*, 1999), deverá ser tratada em um trabalho futuro.

7.4. Trabalhos Futuros

Ao longo do trabalho foram percebidas questões que poderão contribuir com a melhoria da avaliação do desempenho potencial dos projetos de software e que serão tratadas em trabalhos futuros.

O instrumento possibilita que o usuário estabeleça restrições para o projeto. Com base nestas restrições, o instrumento identifica a parte da amostra simulada que atende à restrição e provê um indicativo percentual da amostra que este subconjunto corresponde. A simulação é feita sobre o processo planejado para o projeto, que inclui a alocação de pessoas que executarão cada componente do processo. Portanto, a ferramenta provê as chances do processo atender às restrições para o projeto, mas não realiza a busca por outras combinações (de recursos, por exemplo) que poderiam potencializar os resultados do projeto. Este é um problema de otimização que será tratado em um trabalho futuro.

Na primeira versão do instrumento foram incluídos ciclos de retorno que representavam os ciclos de correção ao longo do processo de desenvolvimento. A taxa de inclusão de defeitos e a taxa de detecção de defeitos eram parâmetros que deveriam ser fornecidos pelo usuário para possibilitar a simulação do processo como um todo²⁰. Porém, foi observado o quanto a obtenção destas medidas é uma tarefa não trivial, que requer uma instrumentação específica e um processo sistemático e institucionalizado de verificação que permeia todo o processo de desenvolvimento. Além disso, uma vez que estas medidas estejam disponíveis, faz-se necessário uma investigação para compreender como se dá a propagação da inserção de um defeito em determinado artefato e como dimensionar este impacto em termo de custo, prazo, esforço e na qualidade dos demais produtos de trabalho. Na versão inicial, o defeito implicava o aumento do tamanho do trabalho das atividades subsequentes, mas esta estratégia parece não ser a mais adequada. Um estudo aprofundado sobre a questão será conduzido posteriormente.

O registro do processo padrão da organização no instrumento é feito de forma manual. Será provido um mecanismo para permitir a importação do processo padrão a ser utilizado no planejamento de projetos da organização.

²⁰ RAFFO (1996) também considerou estas medidas em sua tese.

A monitoração dos objetivos de desempenho dos projetos deve ocorrer ao longo de todo o projeto. Para facilitar esta tarefa, há a intenção de prover recursos para que o usuário indique o que ocorreu no projeto até determinado ponto e que o instrumento realize uma projeção do que possivelmente irá ocorrer daquele ponto em diante. Crê-se que este recurso contribuirá com o aumento da percepção do grau de utilidade do instrumento sob a ótica da Gerência Quantitativa.

Por fim, é necessário ampliar os estudos para reunir evidências que indiquem se o instrumento é efetivo ao auxiliar organizações que buscam a alta maturidade à avaliarem o desempenho potencial de seus projetos de software.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-HAMID, T., MADNICK, S., 1991, *Software Project Dynamics: An Integrated Approach* Englewood Cliffs, New Jersey, USA, Prentice-Hall.
- AGARWAL, R., 2011, "Software development process animation". In: *Proceedings of the Annual Southeast Conference*, pp. 221-226, Kennesaw, GA, United states.
- AHMED, R., HALL, T., WERNICK, P., *et al.*, 2005a, *Developing a rapid simulation modelling process (RSMP)*, TR427, School of Computer Science, University of Hertfordshire, Hatfield, UK.
- AHMED, R., HALL, T., WERNICK, P., *et al.*, 2005b, "Evaluating a rapid simulation modelling process (RSMP) through controlled experiments". In: *International Symposium on Empirical Software Engineering*, pp. 10, Hatfield, UK.
- ALBRECHT, A.J., GAFFNEY, J.E., 1983, "Software Function, Source Lines of Code, and Development Effort Prediction: A Software Science Validation", *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 9, n. 6, pp. 639-648.
- ANDERSSON, C., KARLSSON, L., NEDSTAM, J., *et al.*, 2002, "Understanding software processes through system dynamics simulation: a case study". In: *Engineering of Computer-Based Systems, 2002. Proceedings. Ninth Annual IEEE International Conference and Workshop on the*, pp. 41-48.
- BAILEY, J.W., BASILI, V.R., 1981, "A meta-model for software development resource expenditures". In: *Proceedings of the 5th international conference on Software engineering*, pp. 107-116, San Diego, California, United States.
- BARCELOS, M.P., ROCHA, A.R., 2008, "Avaliação de Bases de Medidas considerando sua Aplicabilidade ao Controle Estatístico de Processos de Software." In: *VII Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software*, Florianópolis - SC.
- BARRETO, A., BARROS, M.D.O., WERNER, C.M.L., 2008a, "Staffing a software project: A constraint satisfaction and optimization-based approach", *Computers and Operations Research*, v. 35, n. 10, pp. 3073-3089.

- BARRETO, A., MURTA, L., ROCHA, A.R., 2008b, "Software Process Definition: a Reuse-based Approach". In: *XXXIV Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI'08)*, Santa Fe, Argentina,.
- BARRETO, A.O.S., ROCHA, A.R., 2010, "Analyzing the Similarity among Software Projects to Improve Software Project Monitoring Processes". In: *Seventh International Conference on the Quality of Information and Communications Technology (QUATIC)*, pp. 441-446, Porto, Sept. 29 2010-Oct. 2 2010.
- BARRETO, A.S., 2011, *Uma abordagem para definição de processos baseada em reutilização visando à alta maturidade*, Doutorado, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BARRETO, A.S., MURTA, L.G.P., ROCHA, A.R., 2009, "Componentizando Processos Legados de Software Visando a Reutilização de Processos". In: *VIII Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software*, pp. 189-203, Ouro Preto, MG, Brasil.
- BARROS, M.D.O., 2001, *Gerenciamento de Projetos Baseado em Cenários: Uma Abordagem de Modelagem Dinâmica e Simulação*, Doutorado, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BASILI, V., CALDIERA, G., ROMBACH, D., 1994, "Goal Question Metric Approach", *John Wiley & Sons*, v. 2, pp. 528-532.
- BENTLER, P.M., CHOU, C.P., 1987, "Practical Issues in Structural Modeling", *Sociological Methods & Research*, v. 16, n. 1, pp. 78-117.
- BERARDI, R.C.G., RUIZ, D.D.A., 2009, "Fuzzy-Provenance Architecture for Effort Metric Data Quality Assessment". In: *VIII Brazilian Symposium on Software Quality*, pp. 9-23, Ouro Preto, MG, Brazil.
- BESNARD, D., GREATHEAD, D., BAXTER, G., 2004, "When mental models go wrong: co-occurrences in dynamic, critical systems", *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 60, n. 1, pp. 117-128.

- BIRKHÖLZER, T., MADACHY, R., PFAHL, D., *et al.*, 2010a, "SimSWE - a library of reusable components for software process simulation". In: *Proceedings of the 2010 International Conference on Software Process - ICSP*, Paderborn, Germany.
- BIRKHÖLZER, T., PFAHL, D., SCHUSTER, M., 2010b, "Applications of a generic work-test-rework component for software process simulation". In: *Proceedings of the 2010 international conference on New modeling concepts for today's software processes: software process*, Paderborn, Germany.
- BOEHM, B., CLARK, B., HOROWITZ, E., *et al.*, 1995, "Cost models for future software life cycle processes: COCOMO 2.0", *Annals of Software Engineering*, v. 1, n. 1, pp. 57-94.
- BOEHM, B.W., 1981, *Software Engineering Economics* Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall.
- BOEHM, B.W., ABTS, C., BROWN, A.W., *et al.*, 2000, *Software Cost Estimation with COCOMO II* Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall.
- BROOKS JR., F.P., 1995, *The Mythical Man-Month* Massachusetts, Addison-Wesley.
- BRUSSEE, W., 2004, *Statistics for Six Sigma Made Easy!* New York, McGraw-Hill.
- CAMPOS, A.V., 2009, *Avaliação de Desempenho em Projetos Complexos - Uma Abordagem Multidimensional*, Mestrado, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CHARETTE, R.N., 2005, "Why software fails", *IEEE Spectrum*, v. 42, n. 9, pp. 42-49.
- CHEN, W., FROTJORD, L., 2006, "Scaffolding the Comprehension of Complex Systems with Explanation". In: *Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 869-871, Kerkrade, The Netherlands.
- CHICANO, F., LUNA, F., NEBRO, A.J., *et al.*, 2011, "Using multi-objective metaheuristics to solve the software project scheduling problem". In: *Proceedings of the 13th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, pp. 1915-1922, Dublin, Ireland.
- CHOI, K., BAE, D.-H., 2006, *COCOMO II-based dynamic software process simulation modeling method*, CS/TR-2006-261, Department of Computer Science, KAIST.

- CHOI, K., BAE, D.-H., 2009, "Dynamic project performance estimation by combining static estimation models with system dynamics", *Information and Software Technology*, v. 51, n. 1, pp. 162-172.
- CONTE, S.D., DUNSMORE, H.E., SHEN, V.Y., 1986, *Software Engineering Metrics and Models* Menlo Park, Calif., Benjamin/Cummings.
- DICKMANN, C., KLEIN, H., BIRKHÖLZER, T., *et al.*, 2007, "Deriving a Valid Process Simulation from Real World Experiences". In: *International Conference in Software Process* pp. 272-282, Heidelberg.
- DILALLA, L.F., 2000, "Structural Equation Modeling: Uses and Issues". In: TINSLEY, H., BROWN, S. (eds), *Handbook of Applied Multivariate Statistics and Mathematical Modeling*, San Diego, California, Elsevier Science & Technology.
- DONZELLI, P., 2006, "Decision support system for software project management", *IEEE Software* v. 23, n. 4, pp. 67-75.
- DONZELLI, P., IAZEOLLA, G., 2001, "Hybrid simulation modelling of the software process", *Journal of Systems and Software*, v. 59, n. 3, pp. 227-235.
- EBERLEIN, R.L., 1989, "Simplification and understanding of models", *Systems Dynamics Review*, v. 1, n. 5, pp. 51-68.
- FEATHER, M.S., CORNFORD, S.L., HICKS, K.A., *et al.*, 2008, "A Broad, Quantitative Model for Making Early Requirements Decisions", *IEEE Software*, v. 25, n. 2, pp. 49-56.
- FENTON, N., KRAUSE, P., NEIL, M., 2002, "Software measurement: uncertainty and causal modeling", *IEEE Software*, v. 19, n. 4, pp. 116-122.
- FENTON, N., MARSH, W., NEIL, M., *et al.*, 2004, "Making resource decisions for software projects ". In: *26th International Conference on Software Engineering, 2004. ICSE 2004.*, pp. 397 - 406, 23-28 May 2004
- FENTON, N.E., NEIL, M., 1999, "A Critique of Software Defect Prediction Models", *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 25, n. 5, pp. 675-689.
- FENTON, N.E., PFLEEGER, S.L., 1997, *Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach*, 2nd Edition ed. London, International Thomson Computers Press.

- FISCHMAN, L., MCRITCHIE, K., GALORATH, D.D., 2005, "Inside SEER-SEM", *CrossTalk: The Journal of Defense Software Engineering*, v. 18, n. 4, pp. 26-28.
- FLORAC, W.A., CARLETON, A.D., 1999, *Measuring the software process: statistical process control for software process improvement* Massachusetts, Addison-Wesley.
- FOSS, T., STENSRUD, E., KITCHENHAM, B., *et al.*, 2003, "A simulation study of the model evaluation criterion MMRE", *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 29, n. 11 (Nov. 2003), pp. 985-995.
- FRANÇA, B.B.N.D., 2009, *Um Simulador Estocástico Baseado em Histórico de Processos*, Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará., Belém.
- FUSARO, P., VISAGGIO, G., TORTORELLA, M., 1998, "REP - ChaRacterizing and Exploiting Process Components: Results of Experimentation". In: *Proceedings of the Working Conference on Reverse Engineering (WCRE'98)*, pp. 20-29, Hawaii, U.S.A.
- GARY, K.A., LINDQUIST, T.E., 1999, "Cooperating process components". In: *The Twenty-Third Annual International Computer Software and Applications Conference - COMPSAC'99.*, pp. 218-223, Phoenix, AZ, USA.
- GARY, S., WOOD, R., 2005, "Mental Models, Decision Making, and Performance in Complex Tasks". In: *The 23rd International Conference of the System Dynamics Society*, Boston, USA.
- HAIR, J.F., ANDERSON, R.E., TATHAM, R.L., *et al.*, 2005, *Análise Multivariada de Dados*, 5 ed. Porto Alegre, Bookman.
- HALSTEAD, M.H., 1977, *Elements of software science* New York, Elsevier Science Inc.
- HANAKAWA, N., MATSUMOTO, K.-I., TORII, K., 1999, "Application of Learning Curve Based Simulation Model for Software Development to Industry", *World Scientific Publishing*, pp. 283- 289, Kaiserslautern, Germany.
- HANAKAWA, N., MATSUMOTO, K.-I., TORII, K., 2002, "A Knowledge-Based Software Process Simulation Model", *Annals of Software Engineering*, v. 14, n. 1-4, pp. 383-406.
- HERD, J.R., POSTAK, J.N., RUSSELL, W.E., *et al.*, 1977, *Software cost estimation study - Study results*, RADC-TR77-220, Doty Associates, Inc., Rockville, MD.

- HERNANDEZ-MATIAS, J., VIZAN, A., HIDALGO, A., *et al.*, 2006, "Evaluation of techniques for manufacturing process analysis", *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 17, n. 5, pp. 571-583.
- HOUSTON, D.X., FERREIRA, S., COLLOFELLO, J.S., *et al.*, 2001a, "Behavioral characterization: finding and using the influential factors in software process simulation models", *Journal of Systems and Software*, v. 59, n. 3, pp. 259-270.
- HOUSTON, D.X., MACKULAK, G.T., COLLOFELLO, J.S., 2001b, "Stochastic simulation of risk factor potential effects for software development risk management", *Journal of Systems and Software*, v. 59, n. 3, pp. 247-257.
- JØRGENSEN, M., 2007, "Forecasting of software development work effort: Evidence on expert judgement and formal models", *International Journal of Forecasting*, v. 23, n. 3, pp. 449-462.
- JØRGENSEN, M., SHEPPERD, M., 2007, "A Systematic Review of Software Development Cost Estimation Studies", *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 33, n. 1 (Jan. 2007), pp. 33-53.
- KAPLAN, D., 2000, *Structural Equation Modeling: foundations and extensions*, SAGE Publications.
- KELLNER, M.I., MADACHY, R.J., RAFFO, D.M., 1999, "Software process simulation modeling: Why? What? How?" *Journal of Systems and Software*, v. 46, n. 2-3, pp. 91-105.
- KEMERER, C.F., 1987, "An empirical validation of software cost estimation models", *Communications of the ACM*, v. 30, n. 5, pp. 416-429.
- KHOSROVIAN, K., PFAHL, D., GAROUSI, V., 2008, "GENSIM 2.0: A Customizable Process Simulation Model for Software Process Evaluation ". In: WANG, Q., PFAHL, D., RAFFO, D. (eds), *Making Globally Distributed Software Development a Success Story*, Leipzig, Springer Berlin / Heidelberg.
- KIRK, D., MACDONELL, S., 2009, "A Simulation Framework to Support Software Project (Re)Planning". In: *35th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications. SEAA '09.* , pp. 285-292, 27-29 Aug. 2009.

- KITCHENHAM, B., JEFFERY, D.R., CONNAUGHTON, C., 2007a, "Misleading Metrics and Unsound Analyses", *IEEE Software*, v. 24, n. 2, pp. 73-78.
- KITCHENHAM, B., LAWRENCE PFLEEGER, S., MCCOLL, B., *et al.*, 2002, "An empirical study of maintenance and development estimation accuracy", *Journal of Systems and Software*, v. 64, n. 1, pp. 57-77.
- KITCHENHAM, B.A., MENDES, E., TRAVASSOS, G.H., 2007b, "Cross versus Within-Company Cost Estimation Studies: A Systematic Review", *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 33, n. 5 (May 2007), pp. 316-329.
- KOMURO, M., 2006, "Experiences of applying SPC techniques to software development processes". In: *Proceedings of the 28th international conference on Software engineering*, pp. 577-584, Shanghai, China.
- LANTZY, M.A., 1992, "Application of statistical process control to the software process". In: *Proceedings of the ninth Washington Ada Symposium on Ada: Empowering Software Users and Developers*, McLean, Virginia.
- LEHMAN, M.M., PERRY, D.E., TURSKI, W., 2006, "Difficulties with Feedback Control in Software Processes". In: MADHAVJI, N.H., FERNÁNDEZ-RAMIL, J.C., PERRY, D.E. (eds), *Software Evolution and Feedback: Theory and Practice*, John Wiley & Sons.
- LEWIS, N.D.C., 1999, "Assessing the evidence from the use of SPC in monitoring, predicting & improving software quality", *Computers & Industrial Engineering*, v. 37, n. 1-2, pp. 157-160.
- LINDVALL, M., RUS, I., 2000, "Process diversity in software development", *IEEE Software*, v. 17, n. 4, pp. 14-18.
- LOGUE, K., MCDAID, K., 2008, "Agile Release Planning: Dealing with Uncertainty in Development Time and Business Value". In: *15th Annual IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems.*, pp. 437-442, March 2008.
- MARIA, A., 1997, "Introduction to Modeling and Simulation". In: *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, pp. 7-13, Atlanta, GA, Dec. 1997.

- MAXWELL, K.D., 2002, *Applied Statistics for Software Managers* New Jersey, Prentice Hall PTR.
- MCDONALD, J., 2005, "The Impact of Project Planning Team Experience on Software Project Cost Estimates", *Empirical Software Engineering*, v. 10, n. 2, pp. 219-234.
- MELLO, M.S.D., 2011, *Melhoria de Processos de Software Multi-Modelos Baseada nos Modelos MPS e CMMI-DEV*, M. Sc., COPPE/PESC - Programa de Engenharia de Sistemas e Computação., UFRJ, Rio de Janeiro.
- MELO, C., CRUZES, D.S., KON, F., *et al.*, 2011, "Agile Team Perceptions of Productivity Factors". In: *AGILE Conference (AGILE)*, pp. 57-66, Salt Lake City, UT 7-13 Aug. 2011.
- MENDES, E., MOSLEY, N., COUNSELL, S., 2006, "Web Effort Estimation". In: EMILIA MENDES, MOSLEY, N. (eds), *Web Engineering*, Berlin, Springer-Verlag.
- MENZIES, T., PORT, D., ZHIHAO, C., *et al.*, 2005, "Validation methods for calibrating software effort models". In: *Proceedings of the 27th International Conference on Software Engineering (ICSE)*, pp. 587-595, St. Louis, MO, May 2005.
- MÜLLER, M., PFAHL, D., 2008, "Simulation Methods". In: SHULL, F., SINGER, J., SJØBERG, D.I.K. (eds), *Guide to Advanced Empirical Software Engineering*, London, Springer London.
- MÜNCH, J., ARMBRUST, O., 2003, "Using empirical knowledge from replicated experiments for software process simulation: a practical example". In: *Proceedings of International Symposium on Empirical Software Engineering, 2003. ISESE 2003*, pp. 18-27, Frascati - Monte Porzio Catone (RM), Sep. 30 - Oct. 1.
- NAGAPPAN, N., WILLIAMS, L., OSBORNE, J., *et al.*, 2005, "Providing Test Quality Feedback Using Static Source Code and Automatic Test Suite Metrics". In: *International Symposium on Software Reliability Engineering*, Chicago, IL., November 2005.
- NEIL, M., FENTON, N.E., 1996, "Predicting Software Quality Using Bayesian Belief Networks ". In: *Proceedings of 21st Annual Software Engineering Workshop*, pp. 217-230, NASA Goddard Space Flight Centre, Dec. 1996.

- NEU, H., BECKER-KORNSTAEDT, U., 2003, "Learning and Understanding a Software Process through Simulation of Its Underlying Model". In: HENNINGER, S., MAURER, F. (eds), *Advances in Learning Software Organizations* Springer Berlin / Heidelberg.
- OMG, 2008, *Business Process Modeling Notation, V1.1*, OMG - Object Management Group.
- PARK, S., BAE, D.-H., 2011, "An approach to analyzing the software process change impact using process slicing and simulation", *Journal of Systems and Software*, v. 84, n. 4, pp. 528-543.
- PEARL, J., 2000, *Causality: models, reasoning, and inference* New York, Cambridge University Press.
- PEDREIRA, O., PIATTINI, M., LUACES, M.R., *et al.*, 2007, "A systematic review of software process tailoring", *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes* v. 32, n. 3, pp. 1-6.
- PENDHARKAR, P.C., SUBRAMANIAN, G.H., RODGER, J.A., 2005, "A Probabilistic Model for Predicting Software Development Effort", *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 31, n. 7, pp. 615-624.
- PFAHL, D., 2001, *An Integrated Approach to Simulation-Based Learning in Support of Strategic and Project Management in Software Organisations*, PhD Theses in Experimental Software Engineering, Fraunhofer Institute for Experimental Software Engineering, University of Kaiserslautern, Kaiserslautern, Germany.
- PFAHL, D., 2006, "ProSim/RA — Software Process Simulation in Support of Risk Assessment". In: BIFFL, S., AURUM, A., BOEHM, B., *et al.* (eds), *Value-Based Software Engineering*, Springer Berlin Heidelberg.
- PFAHL, D., LEBSANFT, K., 1999, "Integration of system dynamics modelling with descriptive process modelling and goal-oriented measurement", *Journal of Systems and Software*, v. 46, n. 2-3, pp. 135-150.
- PFAHL, D., LEBSANFT, K., 2000a, "Knowledge acquisition and process guidance for building system dynamics simulation models: An experience report from software

- industry", *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, v. 10, n. 4, pp. 487-510.
- PFAHL, D., LEBSANFT, K., 2000b, "Using simulation to analyse the impact of software requirement volatility on project performance", *Information and Software Technology*, v. 42, n. 14, pp. 1001-1008.
- PFAHL, D., RUHE, G., 2002, "IMMoS: a methodology for integrated measurement, modelling and simulation", *Software Process: Improvement and Practice*, v. 7, n. 3-4, pp. 189-210.
- PSAROUDAKIS, J.E., EBERHARDT, A., 2009, "A Discrete Event Simulation Model to Evaluate Changes to a Software Project Delivery Process", *IEEE*, pp. 113-120, Luxembourg, September 5-7.
- PUTNAM, L.H., 1978, "A General Empirical Solution to the Macro Software Sizing and Estimating Problem", *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 4, n. 4, pp. 345-361.
- PUTNAM, L.H., MYERS, W., 2003, *Five Core Metrics: the intelligence behind successful software management* New York, Dorset House Publishing.
- RAFFO, D., 1999, "Getting the Benefits from Software Process Simulation". In: *International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE'99)*, Kaiserslautern, Germany, June 16-19.
- RAFFO, D., FERGUSON, R., SETAMANIT, S., *et al.*, 2007, "Evaluating the Impact of the QuARS Requirements Analysis Tool Using Simulation", *Software Process Dynamics and Agility*, Berlin, Springer Berlin / Heidelberg.
- RAFFO, D., NAYAK, U., WAKELAND, W., 2005, "Implementing Generalized Process Simulation Models". In: *Proceedings of the 6th International Conference on Software Process Simulation and Modeling (ProSim 2005)*, pp. 139-143, St. Louis, Missouri, May 14 and 15, 2005.
- RAFFO, D., VANDEVILLE, J., 2006, "Combining Process Feedback with Discrete Event Simulation Models to Support Software Project Management". In: NAZIM H.

- MADHAVJI, FERNÁNDEZ-RAMIL, J.C., PERRY, D.E. (eds), *Software Evolution and Feedback: Theory and Practice*, John Wiley & Sons.
- RAFFO, D.M., 1996, *Modeling software processes quantitatively and assessing the impact of potential process changes on process performance*, Doctoral, Graduate School of Industrial Administration, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA.
- RAFFO, D.M., HARRISON, W., VANDEVILLE, J., 2002, "Software process decision support: making process tradeoffs using a hybrid metrics, modeling and utility framework". In: *Proceedings of the 14th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering*, pp. 803 – 809, Ischia, Italy, July, 2002.
- RAFFO, D.M., KELLNER, M.I., 1999, "Modeling Software Processes Quantitatively and Evaluating the Performance of Process Alternatives". In: EMAM, K.E., MADHAVJI, N. (eds), *Elements of Software Process Assessment and Improvement*, Los Alamitos, IEEE Computer Society Press.
- RAFFO, D.M., KELLNER, M.I., 2000, "Empirical analysis in software process simulation modeling", *Journal of Systems and Software*, v. 53, n. 1, pp. 31-41.
- RAFFO, D.M., SETAMANIT, S., 2003, "Supporting Software Process Decisions Using Bi-directional Simulation", *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering* v. 13, n. 5, pp. 513–530.
- RAFFO, D.M., WAKELAND, W., 2007, *Moving Up the CMMI Process Maturity Levels Using Simulation*, CMU/SEI-2006-TR-028, Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute.
- REIS, R.Q., REIS, C.A.L., SILVA, F.A.D.D., *et al.*, 1999, "Um Modelo de Simulação de Processos de Software Baseado em Agentes Cooperativos". In: *Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software* pp. 163 - 178, Florianópolis, SC.
- REN, J., HARMAN, M., PENTA, M.D., 2011, "Cooperative co-evolutionary optimization of software project staff assignments and job scheduling". In: *Proceedings of the Third international conference on Search based software engineering*, pp. 127-141, Szeged, Hungary.

- RENDER, B., RALPH M. STAIR, J., HANNA, M.E., 2009, *Quantitative Analysis for Management*, 10th ed. Upper Saddle River, NJ, USA, Pearson Prentice Hall.
- RICHARDSON, I., VON WANGENHEIM, C.G., 2007, "Why are Small Software Organizations Different", *IEEE Software*, v. 24, n. 1 (Jan.-Feb. 2007), pp. 18–22.
- ROBINSON, S., 1997, "Simulation Model Verification and Validation: Increasing The Users' Confidence". In: *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, pp. 53-59, Atlanta, GA, 7-10 December 1997.
- RODRÍGUEZ, D., SICILIA, M.A., GARCÍA, E., *et al.*, 2011, "Empirical findings on team size and productivity in software development", *Journal of Systems and Software*, v. 85 n. 3 (March 2012), pp. 562–570.
- ROMBACH, D., MÜNCH, J., OCAMPO, A., *et al.*, 2008, "Teaching disciplined software development", *Journal of Systems and Software*, v. 81, n. 5, pp. 747-763.
- RUBIN, H.A., 1983, "Macro-estimation of software development parameters: The ESTIMACS system." In: *SOFTFAIR Conference on Software Development Tools, Techniques and Alternatives*, pp. 109-118, Arlington, Va.
- RUIZ, M., RAMOS, I., TORO, M., 2001, "A simplified model of software project dynamics", *Journal of Systems and Software*, v. 59, n. 3, pp. 299-309.
- RUS, I., 2003, "Supporting decision-making in software engineering with process simulation and empirical studies", *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, v. 13, n. 5, pp. 531-545.
- RUS, I., COLLOFELLO, J., LAKEY, P., 1999, "Software process simulation for reliability management", *Journal of Systems and Software*, v. 46, n. 2-3, pp. 173-182.
- RUS, I., NEU, H., MÜNCH, J., 2003, "A systematic methodology for developing discrete event simulation models of software development processes". In: *4th International Workshop on Software Process Simulation and Modeling*, Portland, Oregon, May 2003.
- SAEED, K., 1998, "Defining a problem or constructing a reference mode". In: *16th International Conference of The System Dynamics Society*, Québec, CANADA, July 20 - 23.

- SCACCHI, W., 1989, "Understanding Software Productivity: A Comparative Empirical Review". In: *Proceedings of the Twenty-Second Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Software Track*, v. 2, pp. 969-977, Kailua-Kona, HI, 3-6 Jan 1989.
- SCACCHI, W., 1999, "Experience with software process simulation and modeling", *Journal of Systems and Software*, v. 46, n. 2-3, pp. 183-192.
- SEI, 2006, *Standard CMMI® Appraisal Method for Process Improvement (SCAMPI) A, Version 1.2: Method Definition Document* Pittsburgh, PA, Carnegie Mellon University.
- SENGE, P.M., 1992, *The Fifth Discipline: The Art & Practice of the Learning Organization* New York, Doubleday Business.
- SHEPPERD, M., SCHOFIELD, C., 1997, "Estimating software project effort using analogies", *IEEE Transactions on Software Engineering* v. 23, n. 11, pp. 736-743.
- SHERRIFF, M., BOEHM, B., WILLIAMS, L., *et al.*, 2005, *An Empirical Process for Building and Validating Software Engineering Parametric Models*, CSC-TR-2005-45, Department of Computer Science, North Carolina State University.
- SHETA, A., RINE, D., AYESH, A., 2008, "Development of software effort and schedule estimation models using Soft Computing Techniques". In: *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pp. 1283-1289, 1-6 June 2008.
- SHEWHART, W.A., 1931, *The Economic Control of Quality of Manufactured Product* New York, D. Van Nostrand Company.
- SILVA FILHO, R.C., ROCHA, A.R., 2010, "Towards an Approach to Support Software Process Simulation in Small and Medium Enterprises". In: *36th EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)* pp. 297-305, Lille, France.
- SOFTEX, 2011, *MPS.BR - Melhoria de Processo do Software Brasileiro, Guia Geral 2011*, SOFTEX, Campinas, SP.
- SOFTEX, 2012, *MPS.BR - Melhoria de Processo do Software Brasileiro, Guia de Avaliação, 2012*, SOFTEX, Campinas, SP.

- STERMAN, J.D., 1989, "Misperceptions of Feedback in Dynamic Decision Making", *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, v. 43, n. 3, pp. 301-335.
- STERMAN, J.D., "System dynamics modeling for project management". In: <http://web.mit.edu/jsterman/www/SDG/project.html>, accessed in 03/13/2008.
- STODDARD-II, R.W., GOLDENSON, D.R., 2010, *Approaches to Process Performance Modeling: A Summary from the SEI Series of Workshops on CMMI High Maturity Measurement and Analysis*, Software Engineering Institute / Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.
- STURGES, H.A., 1926, "The Choice of a Class Interval", *Journal of the American Statistical Association*, v. 21, n. 153 (March 1926), pp. 65-66.
- TRAVASSOS, G., KALINOWSKI, M., 2012, *iMPS 2011 - Resultados de Desempenho das Empresas que Adotaram o Modelo MPS de 2008 a 2011*, SOFTEX, 2012., Campinas, SP
- 36p.
- TRENDOWICZ, A., MÜNCH, J., ZELKOWITZ, M.V., 2009, "Factors Influencing Software Development Productivity—State of the Art and Industrial Experiences", *Advances in Computers*, v. 77, pp. 185-241.
- VASUDEVAN, C., 1994, "An experience-based approach to software project management". In: *Sixth International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, pp. 624-630, New Orleans, Louisiana, 6-9 Nov 1994.
- WALSTON, C.E., FELIX, C.P., 1977, "A method of programming measurement and estimation", *IBM Systems Journal*, v. 16, n. 1, pp. 54-73.
- WHEELER, D.J., CHAMBERS, D.S., 1992, *Understanding Statistical Process Control*, 2 ed. Knoxville, Tennessee, SPC Press.
- WHITNER, R.B., BALCI, O., 1989, "Guidelines for selecting and using simulation model verification techniques". In: *Proceedings of the 21st conference on Winter simulation*, pp. 559 - 568, Washington, D.C., USA.
- WITTEN, I.H., FRANK, E., 1999, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations* San Diego, CA, USA, Academic Press.

- WOHLIN, C., RUNESON, P., HÖST, M., *et al.*, 2000, *Experimentation in Software Engineering: an Introduction* Norwell, MA, Kluwer Academic Publishers.
- WU, C., SIMMONS, D.B., 2000, "Software Project Planning Associate (SPPA): A Knowledge-Based Approach for Dynamic. Software Project Planning and Tracking". In: *24th International Computer Software and Applications Conference*, pp. 305-310, Taipei, Taiwan 25-28 October.
- XU, P., RAMESH, B., 2007, "Software Process Tailoring: An Empirical Investigation", *Journal of Management Information Systems* v. 24, n. 2, pp. 293-328.
- YANG, H.-L., WANG, C.-S., 2009, "Recommender system for software project planning one application of revised CBR algorithm", *Expert Systems with Applications*, v. 36, n. 5, pp. 8938-8945.
- ZHANG, H., 2008, *Qualitative & Semi-Quantitative Modelling and Simulation of the Software Engineering Processes*, Doctoral, School of Computer Science and Engineering Faculty of Engineering, The University of New South Wales, Sydney, New South Wales - Australia.
- ZHANG, H., HUO, M., KITCHENHAM, B., *et al.*, 2006, "Qualitative Simulation Model for Software Engineering Process". In: *Proceedings of the Australian Software Engineering Conference*, pp. 391-400, Sydney, Australia.
- ZHANG, H., JEFFERY, R., HOUSTON, D., *et al.*, 2011, "Impact of process simulation on software practice: an initial report", *ACM*, pp. 1046-1056, Waikiki, Honolulu, HI, USA.
- ZHANG, H., KITCHENHAM, B., 2006, "Semi-quantitative Simulation Modeling of Software Engineering Process". In: *International Software Process Workshop and International Workshop on Software Process Simulation and Modeling (SPW/ProSim)*, v. 3966/2006, pp. 242-253, Shanghai, China.
- ZHANG, H., KITCHENHAM, B., JEFFERY, R., 2007, "A Framework for Adopting Software Process Simulation in CMMI Organizations", *Software Process Dynamics and Agility*, v. 4470/2007, pp. 320-331.

ZHANG, H., KITCHENHAM, B., PFAHL, D., 2008a, "Reflections on 10 Years of Software Process Simulation Modeling: A Systematic Review", *Making Globally Distributed Software Development a Success Story*, v. 5007/2008, pp. 345-356.

ZHANG, H., KITCHENHAM, B., PFAHL, D., 2008b, "Software process simulation over the past decade: trends discovery from a systematic review". In: *Proceedings of the Second ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, pp. 345-347, Kaiserslautern, Germany, October 09 - 10.

APÊNDICE A. A Primeira Versão do Instrumento

A primeira versão do instrumento foi desenvolvida em 2009 para viabilizar a avaliação do desempenho potencial de projetos durante o planejamento em pequenas e médias empresas.

No âmbito de pequenas e médias empresas, as restrições de dados, conhecimento e recursos são aspectos comuns (RICHARDSON e VON WANGENHEIM, 2007). Tendo em vista este contexto, optou-se por: (i) utilizar o processo padrão da organização como principal fonte de conhecimento para construção de modelos de simulação; (ii) definir mecanismos para facilitar a construção dos modelos; e (iii) prover um ambiente que facilitasse a realização de estudos de simulação a partir dos modelos extraídos.

Os seguintes requisitos foram definidos para orientar o desenvolvimento desta versão:

- Identificar e quantificar os relacionamentos entre os múltiplos atributos que caracterizam o contexto de execução de processos de software em uma organização;
- Incorporar os atributos e seus relacionamentos quantitativos em um modelo que possa ser utilizado para estudos de simulação;
- Permitir a manipulação dos parâmetros do modelo através de uma interface de software;
- Permitir a observação da influência de cada atributo no resultado da simulação;
- Ser passível de aplicação em contextos onde há poucos dados históricos de execução dos processos;

A.1. Componentes do Instrumento

O instrumento incorpora três elementos: um processo para construção de modelos de simulação; um micromodelo para simulação de processos de software e um componente software responsável pela automação do processo e integração entre os componentes do instrumento.

A.1.1. O processo para construção de modelos de simulação

O processo tem como objetivo sistematizar a extração de modelos quantitativos de forma que o modelo resultante seja integrado ao processo definido para o projeto e permita a realização de simulações.

A Figura A.1 apresenta uma visão macro do processo proposto utilizando a notação BPM (OMG, 2008) e cada subprocesso está descrito sucintamente a seguir.

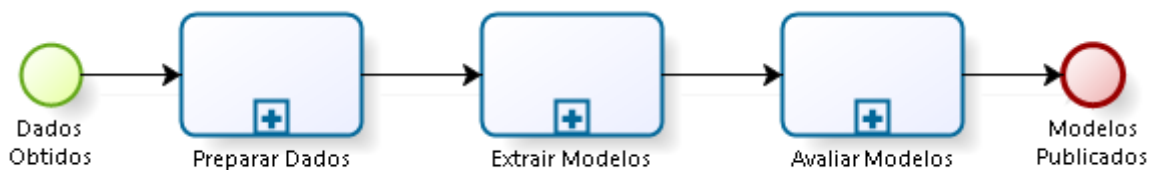


Figura A.1. Esboço do processo para construção de modelos de simulação

I. Preparar dados

A preparação dos dados consiste em excluir os dados sem significância e realizar transformações (redução vertical, normalização, discretização e outras, conforme a técnica de extração de modelos que será utilizada) para facilitar a identificação e quantificação das relações entre os atributos sob análise.

Para iniciar a preparação dos dados foram estabelecidas algumas condições: (i) os dados utilizados deveriam ter sido previamente avaliados por algum outro instrumento, como por exemplo (BARCELOS e ROCHA, 2008; BERARDI e RUIZ, 2009), ou seja, considera-se que os dados estariam corretos e íntegros; (ii) não haveria ausência de dados em cada tupla a ser analisada, portanto, considera-se que os dados a serem processados estão completos; e (iii) cada medida provida ao mecanismo deveria estar associada à sua definição, ao momento (medida de tempo) em que o dado foi gerado e à entidade ao qual se refere.

Como resultado da preparação de dados, obtém-se uma instância do mesmo conjunto de dados de entrada devidamente estruturada, para potencializar os resultados do conjunto de técnicas aplicadas durante a extração dos modelos. A preparação dos dados deve manter o rastro para os dados originais, que são importantes para prover informações aos usuários durante a interação com a tecnologia.

II. Extrair modelos

A extração de modelos tem como objetivo identificar e quantificar as relações entre os elementos que constituem o conjunto de tuplas resultante da preparação dos dados. A execução deste componente do processo consiste na combinação de técnicas de análise de dados.

Os modelos resultantes da extração serão dotados de características de modelos de séries temporais, de modelos causais e de modelos qualitativos, pois os modelos são construídos considerando a sequência temporal da ocorrência de cada dado, a influência que cada medida pode exercer nas demais medidas e em informações que podem orientar a busca por relacionamentos entre as medidas analisadas (dados qualitativos). A sequência temporal associada a cada dado analisado servirá como referência para a busca de relações causa-efeito no conjunto de dados fornecido para análise. As informações que podem apoiar a inferência sobre as relações existentes entre as medidas são oriundas de uma biblioteca de modelos preditivos capaz de servir como uma fonte de relações prováveis entre medidas. Esta biblioteca de modelos preditivos está descrita no APÊNDICE C.

A extração de modelos provê como resultado quatro tipos de modelos: modelos individuais por papel, modelos de equipe, modelos por componente de processo e os modelos integrados, que concatenariam os demais modelos.

Os modelos individuais por papel representam o desempenho de cada indivíduo da organização de acordo com o papel que o mesmo assume durante a execução dos componentes de processo. A importância do desenvolvimento destes modelos reside no entendimento que características como comunicação, inteligência e experiência têm um efeito inquestionável no desempenho dos indivíduos (ROMBACH *et al.*, 2008). Portanto, identificar e mensurar estes efeitos em cada tipo de atividade exercida pelos indivíduos da organização pode prover elementos significativos para a melhoria do desempenho da execução dos processos como um todo.

A Figura A-2. ilustra que modelos diferentes poderiam ser obtidos de acordo com o papel que cada indivíduo assume ao executar um componente de processo. Por exemplo, para alguns papéis, a experiência do indivíduo pode exercer mais influência no esforço requerido para execução das tarefas do que em outros.

A extração de modelos por equipe visa caracterizar o desempenho de um grupo na execução de um componente de processo. Enquanto indivíduos podem ser caracterizados por terem um desempenho inferior aos demais indivíduos da organização, a presença desses em equipes pode aumentar o desempenho do grupo em função da existência de uma característica pessoal, como liderança, comunicação e colaboração. Então, disponibilizar uma visão mais ampla sobre o desempenho de equipes pode ser útil, especialmente quando um componente de processo exige que as tarefas sejam realizadas em equipe. A Figura A-3 ilustra a possibilidade de equipes diferentes serem caracterizadas por modelos diferentes.

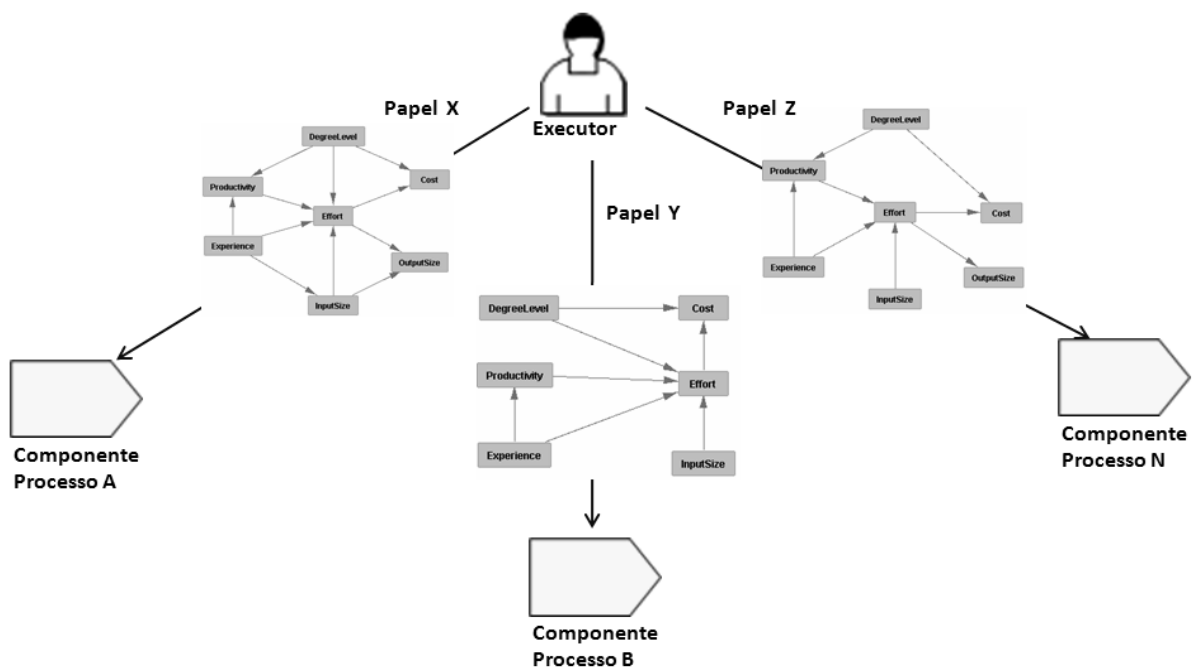


Figura A-2. Modelos por indivíduo e papel exercido

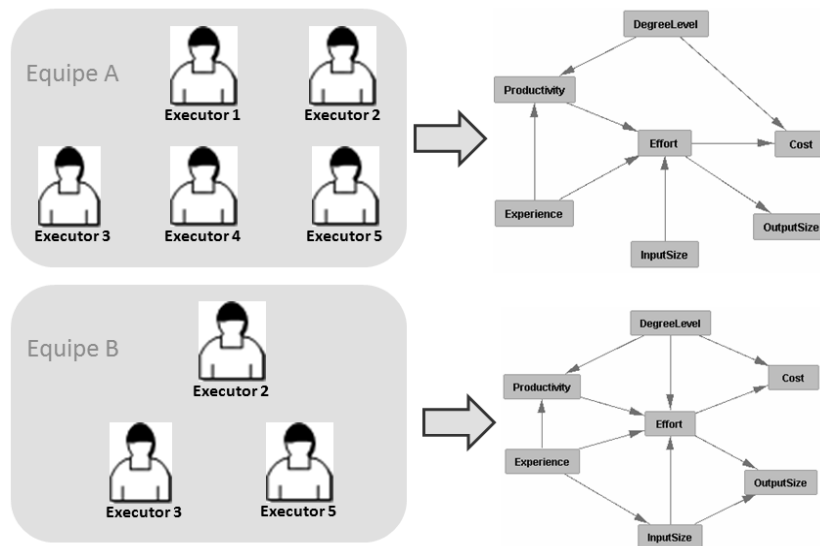


Figura A-3. Modelos por equipe

Os modelos que caracterizam o comportamento dos componentes de processo que constituem o processo padrão da organização independem da equipe ou do indivíduo que os executa (Figura A-4). É provável que estes modelos apresentem uma imprecisão inerente às diversas fontes que influenciam a execução do processo.

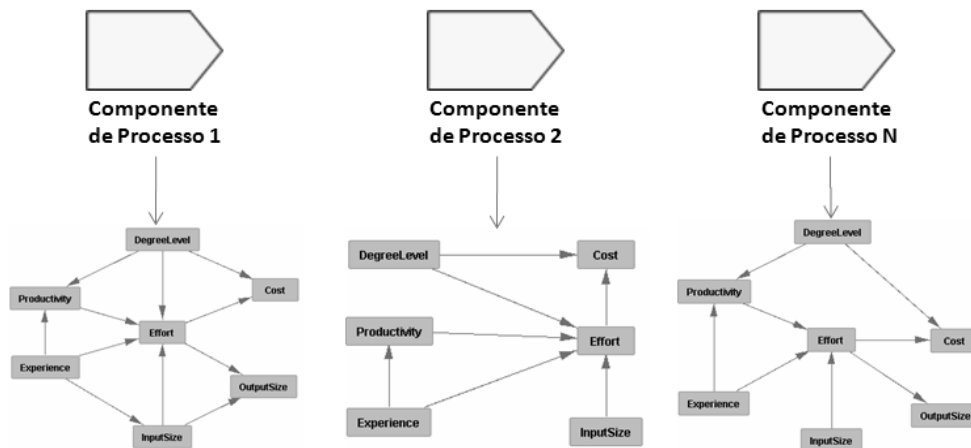


Figura A-4. Modelos para cada componente de processo

O modelo integrado reúne todos os modelos e é responsável pela propagação dos efeitos observados em cada modelo ao longo da execução do processo definido para o projeto. O modelo integrado é criado dinamicamente pela interação do usuário, conforme a composição do processo e os parâmetros fornecidos para caracterizar o cenário de utilização do componente processo.

A quantificação dos relacionamentos existentes entre as variáveis que os modelos analíticos proveem pode ser utilizada como base para realizar simulações (DONZELLI e IAZEOLLA, 2001; CHOI e BAE, 2006; CHOI e BAE, 2009). Nesta direção, após a etapa de extração dos modelos, a simulação poderia ser executada a partir dos valores ou intervalo de valores conhecidos para o cenário que se pretende investigar. Como resposta, a simulação proveria a probabilidade de obter determinados resultados.

III. Avaliar modelos

Após a extração, os modelos devem ser submetidos a um conjunto de testes para avaliação de acurácia. Para realização dos testes, faz-se necessário criar um subconjunto da base histórica de projetos que sirva como referência de comparação e que não tenha sido utilizado na extração dos modelos. A comparação deve ser feita por meio de medidas, tais como MRE, MMRE, RMS e PRED²¹ (WITTEN e FRANK, 1999).

Dada a escassez de dados da base histórica de projetos, para cada modelo preditivo extraído ou evoluído, é aplicado o método *holdout*²² de forma incremental combinado com randomização e testes de hipóteses, repetido um número estatisticamente significativo de vezes (MENZIES *et al.*, 2005).

Os indicadores de acurácia são informações mantidas atreladas a cada modelo e indicam quando os modelos devem ser submetidos à revisão (recriação) devido à baixa calibração. À medida que um novo conjunto de dados é agregado à base de medidas, os modelos devem ser submetidos a nova avaliação, utilizando as novas entradas como dados de teste. Os resultados podem indicar se os modelos precisam ou não evoluir. Em caso afirmativo, os modelos vigentes devem ser depositados no repositório de modelos, para servir como fonte de informação para auxiliar a nova busca por relações, e todo o processo pode ser reiniciado.

²¹ MRE (*Magnitude of Relative Error*) Magnitude do Erro Relativo; MMRE (*Mean Magnitude of Relative Error*) Magnitude Média do Erro Relativo; RMS (*Root Mean Square*) Raiz Quadrada da Média; PRED (*Prediction Level*) Nível de Predição.

²² O método *holdout* pode ser utilizado para coletar informações referentes ao erro das estimativas realizadas por determinado modelo.

A.1.2. O MSPS - micromodelo para simulação de processos de software

A construção do MSPS foi influenciada pelas ideias descritas em (KHOSROVIAN *et al.*, 2008), (RAFFO *et al.*, 2005) e (DONZELLI e IAZEOLLA, 2001), que, respectivamente, propõem a aplicação de micropadrões de modelos de simulação para potencializar a reutilização; a utilização de blocos genéricos para facilitar a construção de modelos de simulação; e a combinação de técnicas de simulação para construção de modelos híbridos, neste caso, de eventos discretos com Dinâmica de Sistemas.

A Figura A-5 ilustra o MSPS. Com exceção da representação dos eventos ‘Iniciar Execução’ e ‘Execução Concluída’, a notação utilizada para representar o MSPS é a mesma utilizada na representação de modelos de dinâmica de sistemas, que é baseada em diagramas de repositórios e fluxos²³.

Essencialmente, o micromodelo representa a quantidade de trabalho a ser realizada sob uma determinada taxa de produção indicada pelo atributo *Produtividade*. O atributo *Disponibilidade* representa a quantidade de horas diárias que o colaborador ou equipe alocada destinará para a execução da atividade. Cada colaborador ou equipe, ao longo das suas atividades, pode inserir defeitos no produto. O atributo *TaxaInclusaoDefeitos* representa esta medida. A computação do *Custo* é realizada com base no custo-hora dos colaboradores alocados e contabiliza apenas as horas produtivas. O *Esforço* é calculado de acordo com a taxa de produção empregada na elaboração dos produtos de trabalho²⁴. Dois eventos são utilizados para controlar o início e o fim da execução das instâncias do micromodelo e possibilitam o encadeamento entre todas as instâncias durante a execução do processo.

²³ BARROS (2001) realiza uma explanação sobre a notação e representação de modelos baseados em dinâmica de sistemas.

²⁴ Utilizando a notação básica de dinâmica de sistemas, a relação entre Produzir e Esforço deveria ser representada por um fluxo, tal como Produzir e Custo, entretanto a Anylogic permite realizar esta simplificação sem que isso implique um modelo diferente.

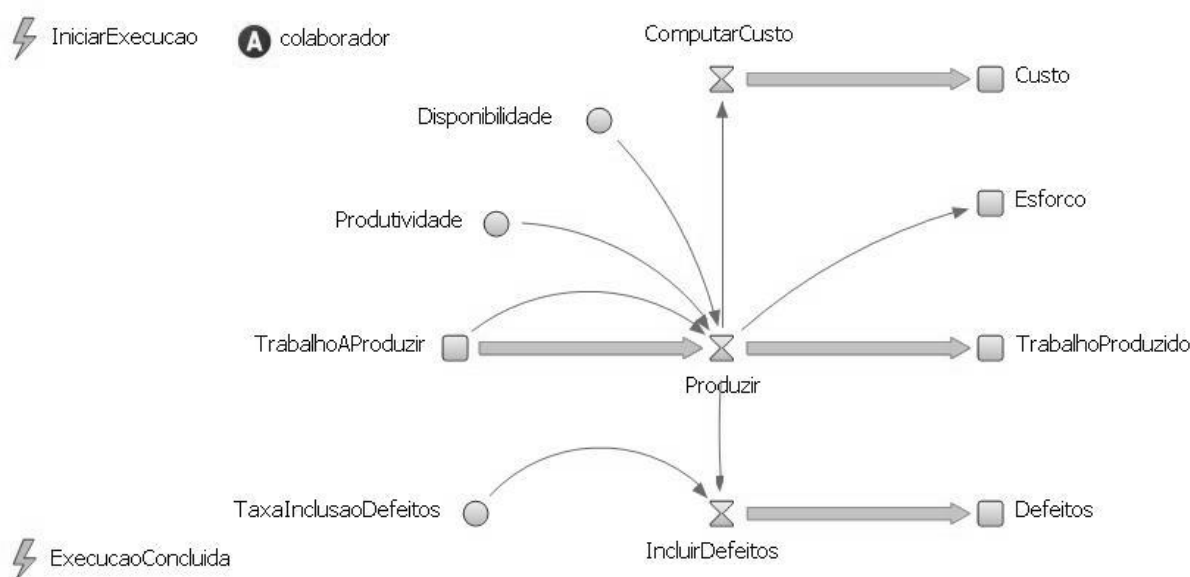


Figura A-5. MSPS - Micromodelo de Simulação de Processos de Software

Uma instância do micromodelo foi desenvolvida na ferramenta comercial Anylogic²⁵, que provê apoio à construção de modelos de simulação utilizando as técnicas de simulação de eventos discretos, dinâmica de sistemas e baseada em agentes.

A.1.3. O componente software

A realização de estudos de simulação com os modelos deve ser realizada com ferramentas adequadas para este fim. No mercado há diversas ferramentas disponíveis. A Vensim²⁶, por exemplo, é a ferramenta mais utilizada por pesquisadores (ZHANG *et al.*, 2008a). Entretanto, vale ressaltar que é necessário conhecimento especializado para manipulação destas ferramentas.

O componente software encapsula a execução de todo o processo descrito na seção anterior (Figura A-6) e provê uma interface para o usuário realizar simulações. Para facilitar a integração com o MSPS, este componente também foi construído na ferramenta Anylogic.

O software interage com três atores: (i) Organização, que representa a fonte que provê dados para a extração dos modelos. Esta fonte pode ser o administrador de banco de dados de uma organização ou um software configurado para interagir com a tecnologia por meio de uma interface de comunicação; (ii) Biblioteca de Modelos, software que provê informações

²⁵ <http://www.xjtek.com/>

²⁶ Vensim é marca registrada da Ventana Systems. Mais informações podem ser encontradas no site <http://www.vensim.com/>.

sobre prováveis relacionamentos existentes entre as variáveis contidas no conjunto de dados submetido à tecnologia; e (iii) Usuário, que representa os diversos papéis que utilizam a tecnologia e fornecem os parâmetros necessários à simulação.

Uma vez que o ator Organização submeta os dados para processamento, o software inicia a preparação dos dados. A partir de então, o ator Organização não precisa mais interagir com o software, que executa todo o processo de construção dos modelos a partir da composição dos micromodelos. Na Figura A-6 o caso de uso Extrair Modelos é acionado indiretamente por invocação (estereótipo <<invokes>> da UML 2.0) pelo caso de uso Preparar Dados. O software constrói um modelo de simulação integrado que combina todos os micromodelos extraídos (por indivíduo e papel, por equipes e por componente processo) de acordo com as informações contidas nos parâmetros e promove a integração por intermédio do MSPS, que representa a dinâmica da execução dos processos e propaga os efeitos por todos os elementos envolvidos durante a execução. Os dados submetidos podem incluir: o processo definido (combinação de componentes de processo a ser utilizada), os profissionais alocados em cada papel, o tamanho do projeto, as restrições de prazo, a disponibilidade dos recursos, os riscos do projeto, dentre outras.

Durante a extração dos modelos, o software estabelece uma comunicação com a Biblioteca de Modelos com o intuito de obter informações que facilitem a identificação das relações existente no conjunto de dados sob análise e que contribuam com o desempenho do software durante a extração dos modelos.

Ao concluir a extração do modelo, o próprio software invocará a funcionalidade de avaliação. O modelo resultante será submetido a um conjunto de testes e os indicadores de acurácia serão atrelados aos respectivos modelos para que, posteriormente, também sirvam de subsídio para análise dos resultados das simulações.

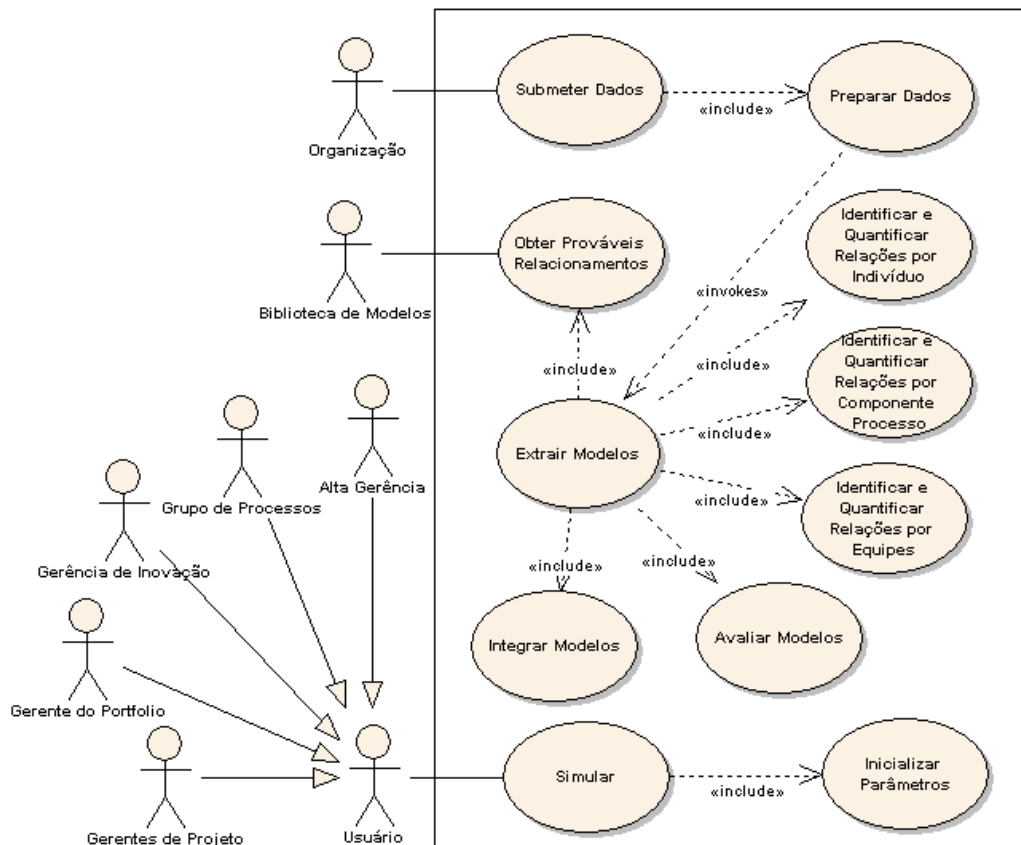


Figura A-6. Diagrama de casos de uso do software.

Quando o ator Usuário aciona a simulação, o software fornece valores prováveis para as variáveis determinadas como alvo da simulação e informações sobre a acurácia dos modelos utilizados para realizar a simulação.

A.2. Visão Geral do Instrumento

A Figura A-7 ilustra o funcionamento do instrumento a partir da combinação de todos os componentes. A simulação de um projeto de software será realizada a partir da construção de um modelo de simulação baseado no processo definido para o projeto. A construção dos modelos dar-se-á a partir do uso de um modelo conceitual de referência, que tem a finalidade de representar a relação entre os elementos que constituem o contexto da execução de um processo (MÜLLER e PFAHL, 2008). Cada elemento presente no modelo conceitual de referência é representado quantitativamente por um conjunto de atributos associados às suas respectivas características. Os modelos que caracterizam o comportamento de cada elemento contém a identificação e quantificação dos relacionamentos entre os atributos dos elementos.

Para capturar as relações entre os atributos, é proposto o uso da técnica de análise multivariada Modelagem de Equações Estruturais (KAPLAN, 2000). Segundo HAIR *et al.* (2005), a Modelagem de Esquações Estruturais deve ser utilizada quando há interesse em identificar múltiplas relações de variáveis dependentes (os indicadores) e independentes. Para adoção da técnica é preciso realizar um conjunto de procedimentos visando transformar os dados para um formato adequado para identificação e quantificação das relações (DILALLA, 2000).

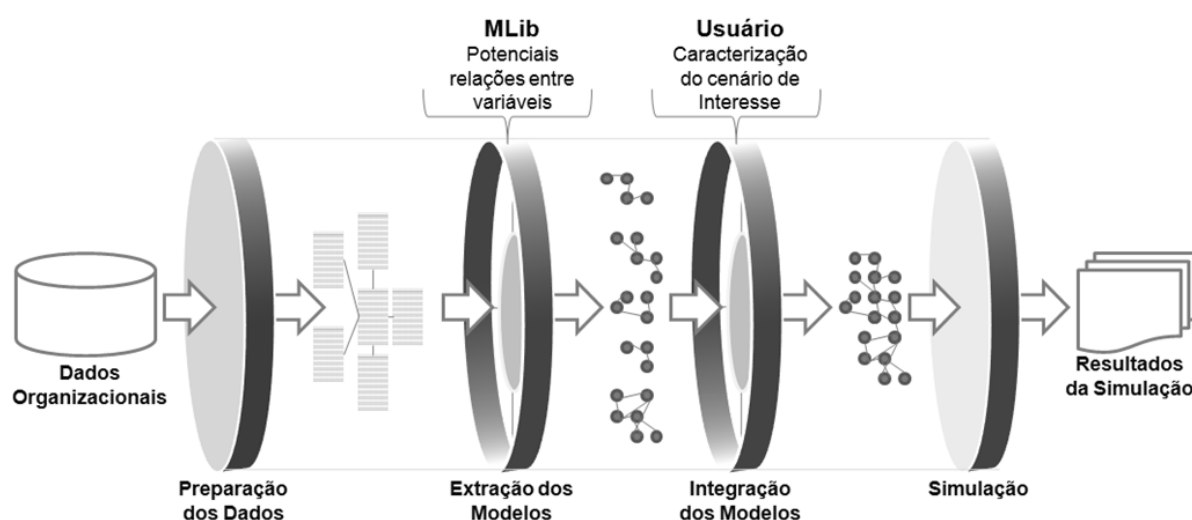


Figura A-7. Esboço do instrumento proposto.

Uma vez que o modelo esteja construído, faz-se necessário prover uma interface capaz de fornecer os serviços de simulação propriamente ditos, ou seja, a manipulação dos parâmetros do modelo e a observação do comportamento das variáveis que se deseja observar. Esta interface, inicialmente deve ser provida por meio de um software de simulação geral que possibilite o encapsulamento de toda a complexidade do modelo e ofereça uma interface legível e amigável ao usuário.

Inicialmente, foi assumido que a organização pudesse dispor de dados que apresentassem certo grau de homogeneidade. Quanto mais homogeneidade nos dados, maior a chance de extrair modelos acurados. Por esta razão, é importante que as organizações de software que tivessem a intenção de utilizar o instrumento, possuíssem um processo padrão institucionalizado, a medição sistemática dos processos e, de preferência, que tenham mecanismos de garantia da qualidade que garantam a aderência dos projetos aos processos. Sob a ótica de modelos de maturidade, estas organizações deveriam adotar práticas que tratam da adoção de processos padrão, que são resultados esperados no nível E do MR-MPS e nível

3 do CMMI, e possuir o nível F do MR-MPS ou nível 2 do CMMI, que tratam da institucionalização da medição e procedimentos de garantia da qualidade.

APÊNDICE B. Uma Experiência com a Primeira Versão do Instrumento

Esta seção relata uma experiência realizada com o propósito de auxiliar o desenvolvimento do instrumento alvo desta pesquisa. A experiência com a versão preliminar da abordagem também foi conduzida para observar as restrições impostas em função da escassez de dados para a construção dos modelos.

Questão de pesquisa formulada para orientar o estudo: **Um modelo de simulação, construído a partir de um conjunto reduzido de dados de uma organização de software, poderia ser útil à realização de estimativas de prazo, esforço e custo?**

O objetivo do estudo está descrito de forma estruturada, utilizando a abordagem *Goal-Question-Metrics* (BASILI *et al.*, 1994) na Tabela B-1.

Tabela B-1. Objetivo do estudo.

Analisar	a influência da ausência de dados na construção de modelos de simulação.
Com o propósito de	observar a utilidade do modelo de simulação resultante.
Em relação à	capacidade preditiva para apoiar a elaboração de estimativas de custo, prazo e esforço.
Do ponto de vista	do gerente de projetos.
No contexto de	uma pequena organização de software.

B.1. Caracterização da organização

A NTech Tecnologia de Informação Ltda.²⁷, fundada em 1996, é uma empresa que presta serviços relacionados à Tecnologia da Informação no mercado Alagoano e Região Nordeste. A unidade de negócio alvo do estudo foi a fábrica de software, que tem por base uma linha de produção de sistemas que também desenvolve projetos corporativos de sítios eletrônicos e portais. Na ocasião deste estudo, realizado em 2009, a empresa contava com 15 colaboradores e estava se preparando para uma avaliação MR-MPS nível F.

A Tabela B-2 apresenta os dados disponíveis na organização para a construção do modelo de simulação. Estes dados também eram utilizados pela abordagem de estimativa adotada pela organização.

²⁷ Mais informações podem ser obtidas no site da empresa: <http://www.ntech.com.br/>

Tabela B-2. Dados disponíveis para a construção do modelo de simulação

Elemento	Descrição
Processo padrão definido	O processo padrão prescreve todas as atividades que precisam ser realizadas ao longo do projeto e define a relação de dependência entre elas. Ele contém 56 atividades organizadas em 14 macroatividades dispostas em 3 fases. As atividades estão relacionadas ao planejamento e monitoração de projetos, garantia da qualidade, testes, gerência de configuração e outras.
Disponibilidade diária de cada recurso	Cada recurso da organização pode possuir uma carga horária diária de alocação diferenciada.
Custo da hora de trabalho por papel	Cada profissional pode assumir diversos papéis e sua remuneração é determinada pelo valor por hora trabalhada conforme o papel que o profissional assumiu.
Tamanho dos projetos	Calculado utilizando a métrica Pontos por Caso de Uso.
Registro de esforço para cada atividade do processo	À medida que as atividades dos processos são executadas, os colaboradores registram a data/hora de início e fim das tarefas.
Produtividade	Calculada a partir da base histórica dos projetos de acordo com o papel exercido. Representa a taxa de construção utilizada pela organização. Razão entre o tamanho do produto de trabalho pelo esforço requerido para construí-lo.

A NTech utilizava a medida pontos de caso de uso para computar o tamanho do software. A partir daí, a produtividade dos desenvolvedores, computada a partir do histórico de projetos, servia de insumo para determinação do esforço, prazo e custo requerido para o desenvolvimento do software. Após realizar uma macroestimativa, a organização construía outra estimativa utilizando uma técnica *bottom-up* com o uso da estrutura analítica do projeto. A estimativa de cada elemento da estrutura analítica do projeto considerava o histórico de projetos anteriores, especificamente, o esforço médio requerido para realizar as atividades do processo e as peculiaridades do novo projeto. Em seguida, ambas as estimativas eram confrontadas para constituir uma estimativa final, que era acrescida de uma margem de segurança.

B.2. A construção do modelo de simulação

Após a organização de software ter aceitado o convite para participar do estudo, foi dado início à construção do modelo de simulação, seguindo os passos gerais sugeridos em (MÜLLER e PFAHL, 2008). Foram identificadas questões críticas que poderiam servir de alvo de simulações e que poderiam agregar valor à organização, o que culminou com a seleção da “Elaboração das Estimativas” como a atividade mais sensível sob o ponto de vista de negócio da organização.

Uma vez que o alvo da simulação foi definido, o processo de desenvolvimento, os instrumentos atualmente utilizados para realizar as estimativas e os conceitos relacionados à elaboração de estimativas foram mapeados logicamente para um modelo conceitual de referência.

Neste ponto, foram observadas algumas dificuldades para modelar a “margem de segurança das estimativas”, que se tratava de um elemento abstrato incorporado ao conhecimento tácito do gerente de projeto. Constatou-se que não havia uma regra pré-definida para estabelecer esta margem e que os projetos poderiam ser acrescidos de 5% a 15% nas variáveis de custo, prazo e esforço, conforme a percepção de risco do gerente do projeto, que considerava o impacto das demandas oriundas de outros projetos, características do cliente e características do projeto a ser desenvolvido.

Diante de tantas variáveis que precisariam ser consideradas para formalizar o conhecimento tácito inerente ao acréscimo da margem de segurança nos projetos, optou-se por não considerar a inclusão deste elemento do modelo. A expectativa era que o impacto desta decisão pudesse ser observado nos resultados do modelo que, *a priori*, deveria apresentar uma diferença equivalente à margem acrescida.

Por outro lado, foi observado que a atual abordagem de estimativas não levava em consideração os ciclos de realimentação existentes no processo de desenvolvimento, por exemplo, o esforço relacionado aos ciclos *avaliação-correção-avaliação* dos produtos de trabalho.

Devido à ausência de uma amostra representativa que permitisse extrair um modelo capaz de representar a incidência de falhas nos produtos de trabalho, optou-se pelo uso de parâmetros para que a organização pudesse calibrar o seu modelo manualmente, quando novos dados estivessem disponíveis.

Reunidas todas as informações necessárias, a construção do modelo foi iniciada. Esta atividade consumiu em torno de 42 HH de esforço do pesquisador, visto que esta foi facilitada pelo uso do MSPS, o qual foi instanciado para cada atividade do processo. O modelo construído está ilustrado na Figura B-1.

A dificuldade de construir o modelo sem um conjunto de dados representativo revelou-se mais complexa ao ser constatada uma grande disparidade em algumas medidas, especialmente aquelas relacionadas às atividades recém-inseridas no processo de desenvolvimento, como as de garantia da qualidade e gerência de configuração. Foi observado que a coleta disciplinada de medidas ainda não estava institucionalizada. Por esta razão, alguns registros individuais de tarefas não constavam no repositório organizacional de medidas. Diante das dificuldades, as decisões sobre quais valores deveriam ser considerados

ficaram a cargo da organização, que procurou aplicar o mesmo raciocínio utilizado na elaboração das estimativas.

Conforme pode ser observado na Figura B-1, a variável *Produtividade* não foi considerada para todas as atividades representadas no modelo. Isto porque o cálculo da produtividade levava em conta o tamanho do projeto e, para algumas atividades, não foi possível observar claramente a correlação entre o tamanho do projeto e o esforço demandado para realizar a atividade. Nestes casos, independente do tamanho do projeto, foi considerado que, a atividade seria executada com um esforço próximo ao médio, com base na limitada amostra de dados disponíveis.

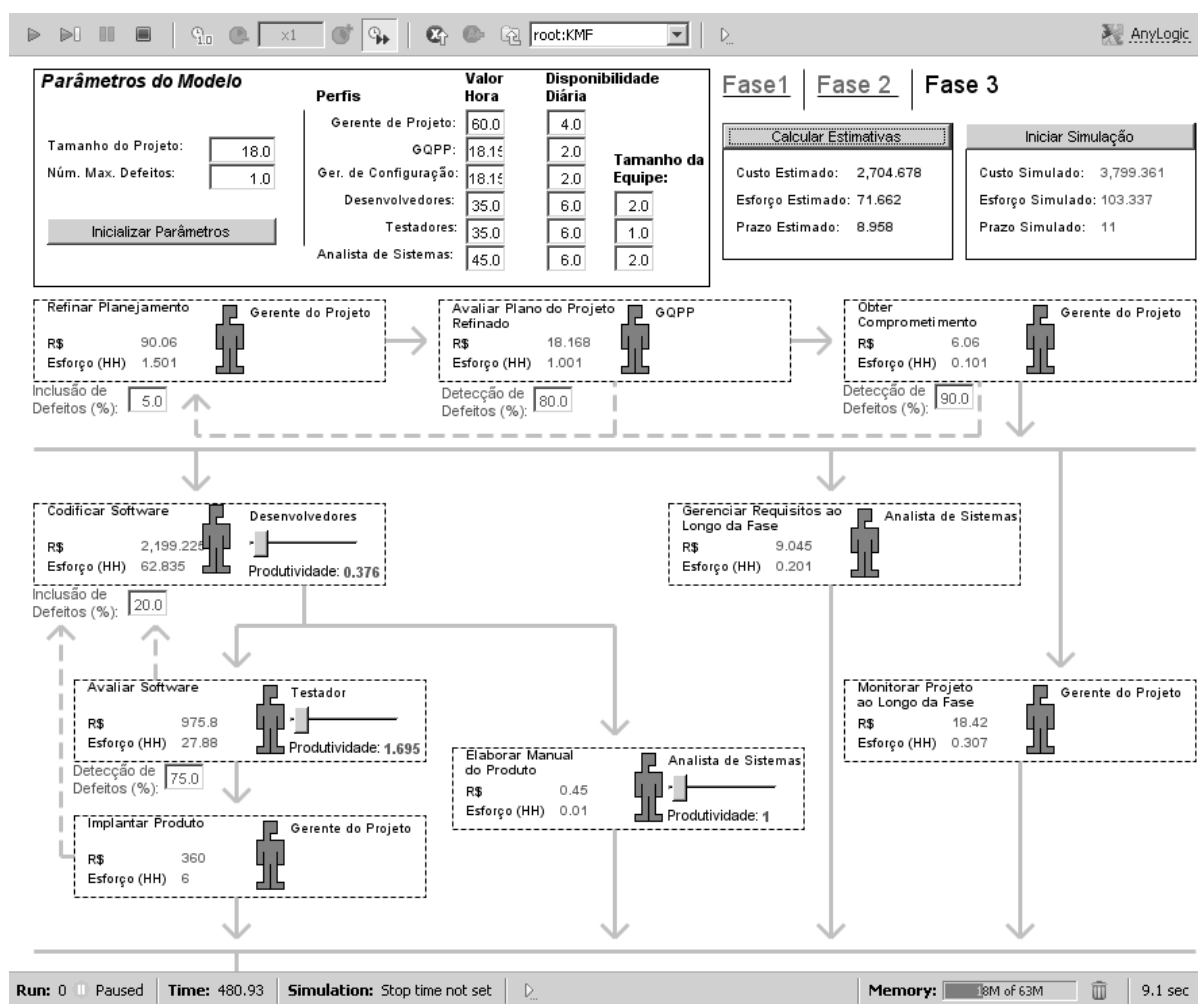


Figura B-1. Simulação da Fase 3 do processo da NTech.

O algoritmo utilizado para realizar a macroestimativa também foi inserido como acessório no modelo. Assim, foi possível avaliar a diferença entre a estimativa algorítmica utilizada na macroestimativa *versus* o resultado da simulação. É importante destacar que essa

estimativa algorítmica não considera o paralelismo entre as atividades, aspecto que é considerado apenas no refinamento das estimativas através do uso da estrutura analítica do projeto durante a elaboração do cronograma.

O modelo construído não considera outros ciclos de realimentação existentes durante a execução do processo de software, a exemplo do ciclo de aprendizado durante a execução das atividades do processo (HANAKAWA *et al.*, 2002) e de outros que não são triviais de identificar (LEHMAN *et al.*, 2006). Também não foram considerados aspectos relacionados à política organizacional, como o algoritmo de alocação dos recursos de acordo com o nível de habilidade e conhecimento dos colaboradores.

O ajuste do modelo ao seu propósito foi avaliado seguindo alguns procedimentos propostos por (ROBINSON, 1997). O gerente de projeto da organização avaliou se os conceitos foram corretamente interpretados e, através de uma verificação visual, se todos aqueles haviam sido incorporados no modelo construído. Em seguida, foi realizado um teste caixa preta, que consistiu em verificar se o modelo se comportava como o previsto ao aplicar dados históricos dos projetos, que, dado o tamanho e qualidade da amostra, ficou restrito a uma simples comparação numérica.

B.3. Resultados do estudo

A Tabela B-3 apresenta os dados obtidos quando aplicada a simulação em apenas um projeto que não fez parte da amostra utilizada na construção do modelo. Os resultados ilustrados abaixo se referem apenas à Fase 3 do processo de desenvolvimento da organização, ilustrada na Figura B-1.

Tabela B-3. Resultados obtidos a partir do projeto OSC.

Custo (R\$)			Esforço (HH)			Prazo (Dias)		
Estim.	Simul.	Real	Estim.	Simul.	Real	Estim.	Simul.	Real
5.180,26	3.799,36	2.238,86	121	103,33	61,46	13	11	20

Logo após a conclusão do projeto OSC, foi iniciada uma investigação no sentido de compreender as discrepâncias entre os resultados.

O dado que chamou mais atenção foi o do prazo, que foi inferior ao da estimativa e praticamente a metade do realizado. Dado o baixo esforço real, imaginava-se que a diferença tivesse sido influenciada pela indisponibilidade dos profissionais no decorrer do projeto. No entanto, verificou-se que a causa foi o retardo inerente à comunicação da equipe. Entre a

atividade de refinamento do plano e a avaliação da qualidade, por exemplo, havia um retardo próximo de dois dias úteis. Também foi constatado que alguns registros de execução de atividades não haviam sido feitos. Este fato implicou diretamente no esforço e no custo real do projeto, que era computado com base nos registros de esforço investido em cada atividade executada pelos colaboradores.

Com relação à questão de pesquisa, considerando os dados coletados de apenas um novo projeto, não foi possível afirmar que o instrumento seria útil no apoio ao planejamento de projetos. Mesmo assim, algumas observações foram realizadas ao longo do estudo, dentre as mais relevantes: (i) a comunicação pode exercer uma influência significativa no prazo dos projetos da organização, por isso é interessante considerá-la nas estimativas; (ii) o uso de interfaces visuais para facilitar a interação com os usuários pode estimular o uso da simulação; e (iii) a reflexão necessária à materialização do conhecimento implícito no modelo de simulação permitiu que a organização identificasse oportunidades de melhoria para aumentar a acurácia das estimativas.

Também foi observado que o registro de tarefas, no momento em que elas são realizadas e de forma aderente ao processo, poderia revelar, quantitativamente, a influência do retardo da comunicação no prazo dos projetos.

Na percepção da organização, o uso do modelo de simulação poderia facilitar a avaliação da capacidade de atender as restrições de prazo impostas pelos clientes. Além disso, a simulação também poderia prover condições de avaliar diversas configurações da equipe para buscar o equilíbrio entre o custo e as necessidades do cliente, desde que o modelo seja calibrado.

B.4. Análise da experiência

É possível que organizações que possuem um processo padrão definido e um programa de medição institucionalizado (nível F do MR-MPS ou nível 2 no CMMI, e que adotam processos padrão) tenham mais chances de usufruir dos benefícios oferecidos pelo paradigma de simulação híbrida. Isto pode assinalar que a seleção do paradigma híbrido para construção de modelos de simulação pode estar relacionada em algum grau com o nível de maturidade que a organização possui, mas não exatamente como sugerido em (ZHANG *et al.*, 2007), que sugere que a simulação híbrida seja aplicada em organizações nos níveis 4 ou 5 do CMMI.

Percebeu-se que a construção de modelos preditivos provocou a construção de uma visão holística do usuário sobre os fatores que podem influenciar a execução de projetos. Também foi observado que a atividade de construção de modelos é extremamente suscetível a erros. Mesmo com um nível razoável de conhecimento com relação às técnicas de simulação, podem-se cometer erros difíceis de identificar e que podem alterar de forma significativa o modelo resultante. A ausência de dados e a variabilidade dos projetos dificultam ainda mais a tarefa.

Sob o ponto de vista da pesquisa, a experiência permitiu a imersão do pesquisador ao ambiente onde as diversas facetas do problema tornaram-se explícitas e palpáveis. O sentimento que a realização de experiências na indústria não é trivial, especialmente no contexto de pequenas e médias empresas. É necessário conduzir este tipo de estudo de forma cuidadosa e disciplinada para aumentar o entendimento sob a realidade e reunir subsídios concretos para o desenvolvimento de tecnologias adequadas e efetivas.

B.5. Principais aspectos a serem aprimorados

a) Como prover o conhecimento requerido para aprimorar os estudos de simulação?

A execução do processo de forma simulada provê informações sobre o possível comportamento de um projeto. Para obter informações sobre quais as chances do projeto efetivamente demonstrar o comportamento simulado e atender as restrições impostas ao projeto é necessário que o usuário tenha conhecimento em técnicas estatísticas avaliar melhor o desempenho potencial dos projetos e identificar alternativas com maiores chances de atender os objetivos do projeto.

b) Como diminuir a complexidade inerente à construção de modelos?

Os modelos individuais que representam o desempenho individual na execução de cada componente de processo foram encapsulados em algumas medidas. A principal delas é a produtividade. Sabe-se que um indivíduo pode ter habilidades específicas, nível de experiência diferenciado, pode ter oscilações na motivação. Todos estes aspectos refletem diretamente na produtividade do indivíduo na execução de determinado componente de processo. Incorporar estas influências sem aumentar a complexidade do modelo de simulação representa um grande desafio.

c) Como capturar e incorporar o conhecimento do especialista no modelo de simulação para suprir a necessidade de dados históricos para a construção do modelo?

Quando há dados históricos que possibilitam a análise do comportamento do processo, este comportamento pode ser modelado e incorporado aos modelos de simulação com o uso de técnicas quantitativas. Entretanto, quando os dados são escassos ou quando não estão disponíveis há necessidade de mecanismos que auxiliem a captura do conhecimento sobre os aspectos que influenciam o comportamento do processo e de mecanismos que apoiem a incorporação deste conhecimento aos modelos de simulação.

APÊNDICE C. Protótipo da Biblioteca de Modelos Preditivos

Para avaliar a viabilidade de construção da biblioteca de modelos preditivos (MLib) foi construído um protótipo funcional na *web* que permite que os usuários consultem os modelos, naveguem entre as variáveis (fatores) que compõe cada modelo, observem quais variáveis são mais referenciadas pelos modelos e submeta um conjunto de dados a todos os modelos preditivos catalogados na biblioteca.

O protótipo funcional da MLib provê informações relevantes sobre cada modelo catalogado, referências para que os interessados possam aprofundar o conhecimento sobre o modelo e prover todas as definições das variáveis que compõem cada modelo. A Figura C-1 ilustra um modelo cadastrado no protótipo da MLib.

MODELOS

ID	2
Sigla	COCOMOII
Nome	Constructive Cost Model versão 2.0
Autoria	Barry Boehm
Descrição	Modelo que permite estimar a duração e custo de projetos de software.
Equações	$ESFORÇO = A \times (TAMANHO^B) \times Somatorio(RELY, DATA, CPLX, RUSE, DOCU, TIME, STOR, PVOL, ACAP, PCAP)$ $PRAZO = A \times (ESFORÇO^{0.33 + 0.2 \times (B-1.01)}) \times SCED$ Onde, A é uma constante do modelo; B = $1.01 + 0.01 \times Somatorio(PREC, FLEX, RESL, TEAM, PMAT)$; SCED indica a compressão correspondente ao multiplicador de esforço atribuído ao diretorador de custos.
Fonte	COCOMO II Model Definition Manual Version 1.4, University of Southern California Disponível em: http://citeseer.ist.psu.edu/258439.html

FATORES DO MODELO (29 Fatores)

ID	SIGLA	NOME	DESCRIÇÃO
1	Prazo	Prazo	Representa o intervalo de tempo corrido (duração) entre o início e o final de determinado evento. Exemplo: duração do projeto, duração de uma atividade, etc.
2	Esforço	Esforço	Representa a força de trabalho requerida para produzir algo
5	Tamanho	Tamanho	Representa a magnitude do produtos. Pode referir-se ao projeto com um todo ou a partes dele (requisito a requisito, por exemplo)
6	PREC	Precedência em Aplicações	Aspecto definido em função do entendimento organizacional dos objetivos do produto, experiência em trabalhar com sistemas de software relacionados, desenvolvimento concorrente de novo hardware e procedimentos operacionais associados, necessidade de algoritmos e arquiteturas inovadores.

DESCRIÇÃO

Descrição do modelo e os fatores pertinentes a este.

Clique no ID do fator para ver suas informações.

Figura C-1. Modelo catalogado no protótipo da MLib.

Para submeter os dados, o usuário deve assegurar que os dados submetidos seguem a definição de cada variável requerida pelos modelos catalogados. Divergências na unidade de medida (uso de horas ou dias para determinada medida, por exemplo) ou equívocos na interpretação do significado de cada medida a ser informada (tamanho em pontos por função

ou tamanho em casos de uso) pode implicar erros no cômputo dos modelos. A Figura C-2 ilustra a tela construída no protótipo para submissão do conjunto de dados a serem processados.

The screenshot shows a web interface for 'MLib - Biblioteca de Modelos'. The navigation menu includes 'HOME', 'MODELOS', 'FATORES', 'CÁLCULO' (highlighted), and 'AJUDA'. The main content is divided into two sections: 'CÁLCULO DE ESFORÇO' and 'DESCRIÇÃO'. Under 'CÁLCULO DE ESFORÇO', there is a header 'Modelos disponíveis: SLIM e SEER', a text prompt 'Escolha o arquivo XML que contém os dados dos projetos', an 'Arquivo...' button, and an 'Enviar' button. The 'DESCRIÇÃO' section contains a paragraph explaining that the area is for selecting an XML file with project data, which will be evaluated by the SLIM and SEER models.

Figura C-2. Interface de para submissão de dados no formato XML.

O protótipo construído fixou “esforço” como variável dependente, entretanto a ferramenta propriamente dita permitirá que o usuário indique qual variável deseja explorar nos modelos preditivos disponíveis na biblioteca. Quando um conjunto de dados é submetido à biblioteca, o protótipo realiza uma comparação entre o esforço predito e o esforço real, determina o erro de predição para cada um dos modelos e provê uma lista priorizada de modelos preditivos mais ajustados ao conjunto submetido.

Após a submissão do conjunto de dados, o protótipo apresenta o resultado da avaliação dos modelos na forma de uma lista priorizada dos modelos catalogados. No momento, apenas os modelos SLIM (PUTNAM e MYERS, 2003) e SEER (FISCHMAN *et al.*, 2005) estão disponíveis.

A Figura C-3 ilustra o resultado obtido a partir de um conjunto de dados submetidos. A primeira tabela provê a lista priorizada dos modelos ordenada pelo o que obteve o menor erro médio. As tabelas subsequentes apresentam os resultados obtidos para cada conjunto de dados em cada modelo, sendo a primeira o resultado do modelo SEER e a segunda do modelo SLIM. A tabela de cada modelo apresenta uma coluna como esforço (real) e o esforço calculado (resultado com a aplicação do modelo) que são utilizadas para o cálculo do erro de cada modelo. Um requisito importante a ser incorporado seria a possibilidade de apresentar os valores estimados e os respectivos valores calculados pelos modelos para cada variável dependente identificada pelo próprio usuário.

MLib
Biblioteca de Modelos

HOME MODELOS FATORES **CÁLCULO** AJUDA

RESULTADO

Modelos	Ranking	Erro Médio
SLIM	1	6.1858325%
SEER	2	134.41731%

SEER						
PROJETO	ESFORÇO	ESFORÇO CALC.	LOC	TEMPO (Anos)	CONSTANTE TECNOLÓGICA	COMPLEXIDADE DE PESSOAL
Teste 1	16	39.81072	10000	0.15848932	10000	10000
Teste 2	28	77.41721	15000	0.21309954	2000	8000
Teste 3	40	107.61774	5000	0.47252837	4000	1020
Teste 4	92	82.71329	21000	0.18926565	680	12200
Teste 5	4	10.705637	1500	0.15281421	680	3000

SLIM					
PROJETO	ESFORÇO	ESFORÇO CALC.	LOC	TEMPO (Anos)	CONSTANTE TECNOLÓGICA
Teste 1	16	15.0	10000	0.2	10000
Teste 2	28	28.125	15000	0.8	2000
Teste 3	40	37.5	5000	0.1	4000
Teste 4	92	92.64706	21000	1	680
Teste 5	4	3.3088236	1500	2	680

DESCRIÇÃO

A primeira tabela é referente ao erro médio obtido em cada modelo. Com isso, é feito um ranqueamento para qual modelo obteve melhor performance.

A segunda tabela é referente aos valores do projeto, contendo também, o esforço calculado pelo método SEER.

A terceira tabela é referente aos valores do projeto, contendo também, o esforço calculado pelo método SLIM.

Figura C-3. Resultado: lista de modelos priorizada.

O protótipo concebido possui apenas componentes para cômputo dos modelos SLIM e SEER. A MLib deve ter a capacidade de processar os modelos catalogados e transformá-los, automaticamente, em componentes. Com isso, a ferramenta poderá dar suporte a inúmeros modelos sem a necessidade de codificá-los.

O volume de dados submetidos pelo usuário, a quantidade de modelos disponível na biblioteca, a infraestrutura utilizada para a disponibilização do serviço são aspectos não-funcionais que precisarão ser considerados na implementação da MLib, pois podem oferecer um impacto substancial no desempenho do serviço.

As organizações podem possuir um número restrito de dados e que não contemplam todas as variáveis requeridas pelos modelos. Neste caso é importante que a MLib seja capaz de identificar quais fatores estão presentes e selecionar apenas os modelos que possuem os fatores contidos do conjunto de dados submetido.

O protótipo não fornece uma interface para cadastro de novos modelos e fatores. Atualmente estas atividades são realizadas através da inserção destes dados diretamente no banco de dados. Esta funcionalidade também deverá compor a lista de requisitos da MLib.

O Projeto da Arquitetura

A arquitetura que foi projetada para a MLib é representada por três camadas, uma de vista, uma de controle e uma de persistência (Figura C-4). A interface com o usuário permite a interação do usuário pelo ambiente Web. A camada de controle é responsável por receber as requisições do usuário, assim como receber os dados dos projetos e aplicar os modelos através dos componentes para cálculo. Além disso, esta camada faz requisições à camada de persistência para listar modelos e seus respectivos fatores. A camada de persistência encapsula todas as funcionalidades de acesso ao banco de dados inerentes à definição dos modelos.

Embora o banco de dados contenha definições de cada variável, o protótipo permite que um componente de cálculo exista sem que o seu respectivo modelo tenha sido cadastrado e vice-versa. Para o protótipo esta característica é aceitável, porém para o produto propriamente dito, este aspecto deverá ser considerado.

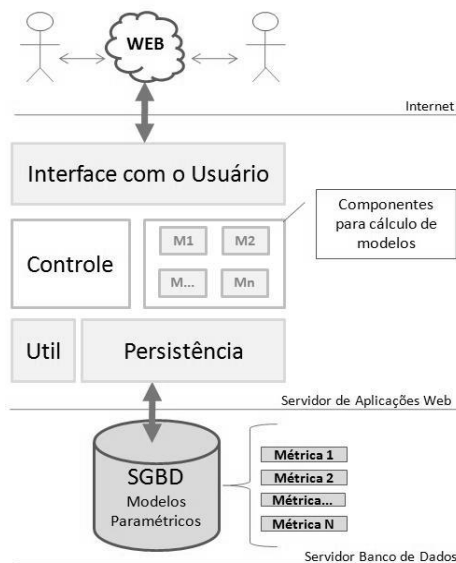


Figura C-4. Arquitetura da MLib.

O protótipo tem servido como uma valiosa fonte de requisitos para a Biblioteca de Modelos Preditivos, permitindo revelar um conjunto de questões não triviais que precisarão ser tratadas antes de disponibilizar a primeira versão da ferramenta MLib.

Outros aspectos interessantes puderam ser observados com o desenvolvimento do protótipo: (i) a utilidade da biblioteca como fonte de informações sobre potenciais relações existentes entre as diversas variáveis presentes no desenvolvimento de software; (ii) à medida

que um volume de dados tiver sido submetido ao serviço, será possível identificar, quantitativamente, qual dos modelos preditivos tem se mostrado historicamente mais adequado; e (iii) por reunir inúmeros modelos, a identificação dos fatores mais considerados nos modelos preditivos também poderá ser obtida a partir de uma simples consulta. Esta informação pode ser útil durante o planejamento de estudos experimentais, como fonte de fatores de influência ou como referência preliminar para aqueles que desejam desenvolver novos modelos.

O serviço deverá ser disponibilizado para a comunidade sem ônus para os usuários registrados.

APÊNDICE D. Planilhas com Dados dos Componentes

Planejar Projeto

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7	Pessoa 1	3,3	39,69697
Projeto 3	Pessoa 2	3,5	32,85714
Projeto 1	Pessoa 3	14,5	11,44828
Projeto 5	Pessoa 2	7	10,57143
Projeto 6	Pessoa 2	9	9,444444
Projeto 4	Pessoa 2	4	36
Projeto 2	Pessoa 1	3,3	5,151515

Especificar Requisitos

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7	Pessoa 5	9	14,55555556
Projeto 3	Pessoa 6	96	1,197916667
Projeto 1	Pessoa 12,Pessoa 3	47,5	3,494736842
Projeto 5	Pessoa 6	29	2,551724138
Projeto 6	Pessoa 8,Pessoa 11	24	3,541666667
Projeto 4	Pessoa 9	84	1,714285714
Projeto 2	Pessoa 4	14	1,214285714

Criar Protótipo de Tela

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7			
Projeto 3	Pessoa 6	28	4,107142857
Projeto 1			
Projeto 5			
Projeto 6	Pessoa 14, Pessoa 11	35	2,428571429
Projeto 4			
Projeto 2	Pessoa 4	16,5	1,03030303

Definir Interface

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7	Pessoa 19	4	32,75
Projeto 3	Pessoa 16,Pessoa 19	34	3,382352941
Projeto 1	Pessoa 12,Pessoa 3	11	15,09090909
Projeto 5	Pessoa 18, Pessoa 17	16	4,625
Projeto 6	Pessoa 19	16	5,3125
Projeto 4			
Projeto 2			

Avaliar Especificação com o Cliente

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7	Pessoa 5	1	131
Projeto 3	Pessoa 6	1	115
Projeto 1	Pessoa 3	12	13,83333333
Projeto 5	Pessoa 2	1,5	49,33333333
Projeto 6	Pessoa 2	1	85
Projeto 4			
Projeto 2			

Avaliar Especificação com a Equipe

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7	Pessoa 5,Pessoa 1	1,5	87,33333333
Projeto 3	Pessoa 6	8,5	13,52941176
Projeto 1	Pessoa 3	4	41,5
Projeto 5	Pessoa 2	1,5	49,33333333
Projeto 6	Pessoa 11,Pessoa 2,Pessoa 8	6	14,16666667
Projeto 4			
Projeto 2			

Modelar Projeto

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7	Pessoa 16	4	32,75
Projeto 3	Pessoa 30,Pessoa 31	18,25	6,301369863
Projeto 1	Pessoa 3	14	11,85714286
Projeto 5	Pessoa 16,Pessoa 6,Pessoa 30	19,55	3,78516624
Projeto 6	Pessoa 14,Pessoa 11,Pessoa 30	25,5	3,333333333
Projeto 4			
Projeto 2			

Avaliar e Comprometer-se com o Modelo do Projeto

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7			
Projeto 3	Pessoa 2	2,5	46
Projeto 1	Pessoa 3	4	41,5
Projeto 5	Pessoa 2	2,5	29,6
Projeto 6	Pessoa 2	2,5	34
Projeto 4			
Projeto 2			

Produzir Casos de Teste

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7	Pessoa 25	5	26,2
Projeto 3	Pessoa 25	17,5	6,571428571
Projeto 1			
Projeto 5	Pessoa 26	16	4,625
Projeto 6	Pessoa 28	9	9,444444444
Projeto 4			
Projeto 2			

Codificar

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7	Pessoa 29,Pessoa 23,Pessoa 32,Pessoa 33	84	1,55952381
Projeto 3	Pessoa 32,Pessoa 33,Pessoa 16	241,3	0,476585164
Projeto 1	Pessoa 3,Pessoa 24,Pessoa 16	313	0,530351438
Projeto 5	Pessoa 16,Pessoa 32	95	0,778947368
Projeto 6	Pessoa 16,Pessoa 33	138	0,615942029
Projeto 4	Pessoa 35	1	144
Projeto 2	Pessoa 23,Pessoa 30,Pessoa 31,Pessoa 29	39,5	0,430379747

Executar Testes

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7	Pessoa 34	7	18,71428571
Projeto 3	Pessoa 26,Pessoa 34,Pessoa 28	54,2	2,121771218
Projeto 1	Pessoa 36	0	
Projeto 5	Pessoa 28,Pessoa 34	16,8	4,404761905
Projeto 6	Pessoa 2	0	
Projeto 4			
Projeto 2	Pessoa 4	5	3,4

Homologar Software

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7	Pessoa 5,Pessoa 30	7	18,71428571
Projeto 3	Pessoa 2	7,61	15,11169514
Projeto 1	Pessoa 3	40	4,15
Projeto 5	Pessoa 6,Pessoa 2	9,51	7,78128286
Projeto 6	Pessoa 2	1	85
Projeto 4			
Projeto 2	Pessoa 23,Pessoa 4	8,5	2

Monitorar Projeto

Projeto	Profissional	Esforço	Produtividade
Projeto 7			
Projeto 3			
Projeto 1			
Projeto 5			
Projeto 6	Pessoa 1,Pessoa 15,Pessoa 14,Pessoa 2	12,88	6,599378882
Projeto 4	Pessoa 21,Pessoa 2,Pessoa 1	7,65	18,82352941
Projeto 2	Pessoa 4,Pessoa 21,Pessoa 19	35,33	0,48117747

APÊNDICE E. Registros Excluídos dos Projetos

PROJETO 1

Data	Atividade	Esforço
21/09/2011	Checklist de Aderência do Processo	2
21/09/2011	Checklist de Aderência do Processo	2,5
21/09/2011	Checklist de Aderência do Processo	1
20/07/2011	Configurar Ambiente do Projeto	1
05/08/2011	Configurar Ambiente do Projeto	3

Data	Atividade	Esforço
21/07/2011	Elaborar o Termo de Abertura	1
09/08/2011	Elaborar Proposta Técnica	6
10/08/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,5
06/09/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	1,5
	Total	18,5

PROJETO 2

Data	Atividade	Esforço
06/01/2012	Configurar Ambiente do Projeto	1
10/01/2012	Elaborar o Termo de Abertura	0,17
29/02/2012	Digitalização e tratamento de imagens	20
01/03/2012	Digitalização e tratamento de imagens	45
08/03/2012	Gerenciar Configuração	2

Data	Atividade	Esforço
03/04/2012	Digitização	2
15/05/2012	Manutenção Relatório	1
17/05/2012	Digitalização e tratamento de imagens	3
	Total	74,17

PROJETO 3

Data	Atividade	Esforço
06/04/2011	Elaborar Proposta Técnica	1,5
08/04/2011	Identificar o Escopo do Projeto	3
08/04/2011	Elaborar Proposta Técnica	1
14/04/2011	Identificar o Escopo do Projeto	5
15/04/2011	Identificar o Escopo do Projeto	5
18/04/2011	Identificar o Escopo do Projeto	4
18/04/2011	Elicitar Requisitos do Cliente	3
20/04/2011	Identificar o Escopo do Projeto	4
25/04/2011	Elicitar Requisitos do Cliente	6
25/04/2011	Configurar Ambiente do Projeto	1
03/05/2011	Identificar o Escopo do Projeto	0
03/05/2011	Elicitar Requisitos do Cliente	5
04/05/2011	Elicitar Requisitos do Cliente	5
05/05/2011	Elicitar Requisitos do Cliente	5
09/05/2011	Elaborar Proposta Técnica	1,67
18/05/2011	Identificar o Escopo do Projeto	4
20/06/2011	Elaborar Proposta Técnica	3
27/06/2011	Elaborar Proposta Técnica	1
28/06/2011	Elaborar Proposta Técnica	1
29/06/2011	Elaborar Proposta Técnica	1
14/09/2011	Elicitar Requisitos do Cliente	1
16/09/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	5
19/09/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	6
19/09/2011	Elaborar o Termo de Abertura do Projeto	0
20/09/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	6
21/09/2011	Gerenciar Configuração	0,5
21/09/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	2
22/09/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,3
28/09/2011	Avaliar mudança	10
28/09/2011	Registrar solicitação de mudança	1
28/09/2011	Checklist de Aderência do Processo	1

Data	Atividade	Esforço
28/09/2011	Checklist de Aderência do Processo	1
03/10/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	3
13/10/2011	Avaliar impacto	1
13/10/2011	Registrar solicitação de mudança	0,17
14/10/2011	Avaliar mudança	2
14/10/2011	Executar mudança	2
17/10/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,4
18/10/2011	Gerenciar Configuração	0,5
24/11/2011	Carga de dados	4
24/11/2011	Revisar Relatórios	2
25/11/2011	Gerenciar Configuração	8
25/11/2011	Revisar Relatórios	5
28/11/2011	Gerenciar Configuração	9
28/11/2011	Revisar Relatórios	3
29/11/2011	Gerenciar Configuração	4
29/11/2011	Gerenciar Configuração	0,5
06/12/2011	Avaliar impacto	2
06/12/2011	Gerenciar Configuração	1
06/12/2011	Executar mudança	3
06/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	3
07/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,2
09/12/2011	Gerenciar Configuração	0,5
09/12/2011	Registrar solicitação de mudança	0,17
09/12/2011	Avaliar impacto	1
09/12/2011	Executar mudança	0
09/12/2011	Executar mudança	0,75
09/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	1
12/12/2011	Gerenciar Configuração	1
15/12/2011	Avaliar impacto	0
16/12/2011	Checklist de Aderência do Processo	2,3
16/12/2011	Checklist de Aderência do Processo	2,3
	Total	156,76

PROJETO 4

Data	Atividade	Esforço
12/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	6
13/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	6
16/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	0
16/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	0
16/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	6
16/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	1
16/01/2012	Configurar Ambiente do Projeto	2

Data	Atividade	Esforço
17/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	0
18/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	0
20/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	6
23/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	6
24/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	2
25/01/2012	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,5
25/01/2012	Elaborar Proposta Técnica	0,17
	Total	35,67

PROJETO 5

Data	Atividade	Esforço
08/06/2011	Configurar Ambiente do Projeto	1
15/06/2011	Elaborar Proposta Técnica	3
17/06/2011	Elaborar Proposta Técnica	3
21/06/2011	Elaborar Proposta Técnica	3
01/07/2011	Elaborar Proposta Técnica	3
05/07/2011	Avaliar Produtos de Trabalho	0,4
14/09/2011	Elaborar Proposta Técnica	2
15/09/2011	Elaborar Proposta Técnica	1
27/09/2011	Configurar Ambiente do Projeto	1
04/10/2011	Elaborar Proposta Técnica	0,5
26/10/2011	Elaborar Proposta Técnica	3
26/10/2011	Avaliar Produtos de Trabalho	2
27/10/2011	Avaliar Produtos de Trabalho	2,5

Data	Atividade	Esforço
17/11/2011	Checklist de Aderência	3
22/11/2011	Checklist de Aderência	1
28/11/2011	Registrar solicitação de mudança	1
28/11/2011	Executar mudança	0,17
07/12/2011	Avaliar Produtos de Trabalho	0,2
09/12/2011	Registrar solicitação de mudança	0,17
09/12/2011	Executar mudança	1
09/12/2011	Registrar solicitação de mudança	0,17
09/12/2011	Executar mudança	2
12/12/2011	Avaliar Produtos de Trabalho	1
12/12/2011	Avaliar Produtos de Trabalho	1
16/12/2011	Checklist de Aderência	1,5
	Total	37,61

PROJETO 6

Data	Atividade	Esforço
22/09/2011	Configurar Ambiente do Projeto	1
29/09/2011	Configurar Ambiente do Projeto	0,25
21/11/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	1
07/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	2,5
07/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,25
09/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,5
09/12/2011	Checklist de Aderência do Processo	1,2
12/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,25
12/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	1,5
12/12/2011	Gerenciar Configuração	0,5
13/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,25
15/12/2011	Registrar solicitação de mudança	1
16/12/2011	Checklist de Aderência do Processo	0,5
19/12/2011	Avaliar mudança	1
19/12/2011	Avaliar impacto	1
19/12/2011	Executar mudança	8
19/12/2011	Executar mudança	2
19/12/2011	Avaliar mudança	0,25
20/12/2011	Gerenciar Configuração	0,5
21/12/2011	Avaliar impacto	1
21/12/2011	Executar mudança	1
21/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,5
23/12/2011	Executar mudança	1
23/12/2011	Gerenciar Configuração	0,5

Data	Atividade	Esforço
23/12/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,5
05/01/2012	Gerenciar Configuração	0,5
09/01/2012	Executar mudança	6
09/01/2012	Executar mudança	2
09/01/2012	Executar mudança	2
09/01/2012	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,75
10/01/2012	Executar mudança	1
10/01/2012	Executar mudança	0,17
10/01/2012	Executar mudança	0
10/01/2012	Executar mudança	4
11/01/2012	Executar mudança	3
11/01/2012	Avaliar impacto	1
12/01/2012	Avaliar impacto	0
16/01/2012	Avaliar mudança	1
17/01/2012	Executar mudança	2
17/01/2012	Executar mudança	2
17/01/2012	Executar mudança	2
17/01/2012	Avaliar mudança	0,5
17/01/2012	Executar mudança	1,5
18/01/2012	Criar banco de dados	2
20/01/2012	Avaliar impacto	0,17
25/01/2012	Gerenciar Configuração	0,5
11/02/2012	Registrar solicitação de mudança	4
23/02/2012	Gerenciar Configuração	0,5
	Total	64,54

PROJETO 7

Data	Atividade	Esforço
29/06/2011	Configurar Ambiente do Projeto	0,5
30/06/2011	Elaborar Proposta Técnica	2
01/07/2011	Elaborar Proposta Técnica	4
04/07/2011	Elaborar Proposta Técnica	4
05/07/2011	Elaborar Proposta Técnica	4
06/07/2011	Elaborar Proposta Técnica	0,5
06/07/2011	Elaborar Proposta Técnica	0,1
06/07/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	0,4
19/07/2011	Laudo de Avaliação da Qualidade	2
26/07/2011	Registrar solicitação de mudança	0,5
27/07/2011	Executar mudança	1
27/07/2011	Gerenciar Configuração	0,67
27/07/2011	Executar mudança	1,5
28/07/2011	Executar mudança	2
28/07/2011	Gerenciar Configuração	0,25
29/07/2011	Gerenciar Configuração	0,5

Data	Atividade	Esforço
29/07/2011	Gerenciar Configuração	0,5
08/08/2011	Gerenciar Configuração	1
09/08/2011	Avaliar mudança	0,5
09/08/2011	Executar mudança	1
09/08/2011	Gerenciar Configuração	0,5
10/08/2011	Executar mudança	4
19/08/2011	Registrar solicitação de mudança	0,5
19/08/2011	Executar mudança	0,5
23/08/2011	Elaborar Proposta Técnica	0
26/08/2011	Registrar solicitação de mudança	0,5
26/08/2011	Executar mudança	0,5
15/09/2011	Checklist de Aderência do Processo	1
15/09/2011	Checklist de Aderência do Processo	1,5
15/09/2011	Checklist de Aderência do Processo	0,5
13/10/2011	Configurar Ambiente do Projeto	0,5
	Total	36,92

APÊNDICE F. Teste de Conhecimento em Gerência Quantitativa

Teste No.: ____

Considerando o projeto apresentado, o conhecimento que você possui e os instrumentos que você conhece, responda as questões a seguir:

1) Defina ao menos um objetivo de desempenho para o projeto

<input type="checkbox"/>	Não tenho conhecimento para entender a questão
<input type="checkbox"/>	Entendi a questão, mas não sei o que fazer para respondê-la

2) Qual a chance (em termos percentuais) deste objetivo não ser alcançado?

<input type="checkbox"/>	Não tenho conhecimento para entender a questão
<input type="checkbox"/>	Entendi a questão, mas não sei o que fazer para respondê-la

3) Que critério(s) deve(m) ser utilizado(s) para identificar o subprocesso/componente do processo que é crítico para o alcance dos objetivos?

<input type="checkbox"/>	Não tenho conhecimento para entender a questão
<input type="checkbox"/>	Entendi a questão, mas não sei o que fazer para respondê-la

4) Utilizando o(s) critério(s) definido(s) na questão anterior, qual ou quais os componentes considerados críticos para o processo?

<input type="checkbox"/>	Não tenho conhecimento para entender a questão
<input type="checkbox"/>	Entendi a questão, mas não sei o que fazer para respondê-la

5) Qual o *baseline* de desempenho que deve ser utilizado para comparar alternativas de planejamento do processo como um todo e do componente considerado crítico?

<input type="checkbox"/>	Não tenho conhecimento para entender a questão
<input type="checkbox"/>	Entendi a questão, mas não sei o que fazer para respondê-la

6) Há alternativa para planejar o processo de forma a aumentar as chances de atingir os objetivos de desempenho? Qual?

<input type="checkbox"/>	Não tenho conhecimento para entender a questão
<input type="checkbox"/>	Entendi a questão, mas não sei o que fazer para respondê-la

7) Quais os limites naturais de desempenho do processo e do subprocesso considerado crítico?

<input type="checkbox"/>	Não tenho conhecimento para entender a questão
<input type="checkbox"/>	Entendi a questão, mas não sei o que fazer para respondê-la

8) O que pode ser feito durante o projeto para identificar desvios no alcance dos objetivos de desempenho?

<input type="checkbox"/>	Não tenho conhecimento para entender a questão
<input type="checkbox"/>	Entendi a questão, mas não sei o que fazer para respondê-la

APÊNDICE G. Questionário de Avaliação do Instrumento

Questionário de Avaliação do Instrumento Num.: ____

Indique quais características foram percebidas no instrumento durante o exercício:

i)	()	É probabilístico, estatístico ou baseado em simulação e trata a incerteza dos fatores que podem influenciar a execução do processo e seus impactos nos indicadores de desempenho;
ii)	()	Prediz resultados intermediários e/ou finais do projeto;
iii)	()	Possibilita avaliar se determinadas alterações no planejamento do projeto surtirão o efeito desejado aos resultados do projeto;
iv)	()	Quantifica a variação dos fatores que influenciam o processo, a incerteza e o intervalo de variação dos indicadores de desempenho;
v)	()	Permite análises do tipo "o que acontece se" para o planejamento do projeto, replanejamento dinâmico e a resolução de problemas durante a execução do projeto;
vi)	()	Propaga efeitos entre atividades do processo;
vii)	()	Habilita a realização de correções ao longo da execução para assegurar o sucesso do projeto.
viii)	()	Nenhuma das características acima foi percebida.