

Um Estudo Experimental sobre a Utilização de Modelagem e Simulação no Apoio à Gerência de Projetos de Software

MÁRCIO DE OLIVEIRA BARROS
CLÁUDIA MARIA LIMA WERNER
GUILHERME HORTA TRAVASSOS

COPPE / UFRJ – Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação
Caixa Postal: 68511 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro – RJ
Telefone: 5521 2562-8675 / Fax: 5521 2562-8676
{marcio, werner, ght}@cos.ufrj.br

Resumo

Neste artigo apresentamos um estudo experimental sobre a utilização de um conjunto de técnicas de modelagem e simulação no apoio à gerência de projetos de software. As etapas relacionadas com a execução de um estudo experimental, desde seu planejamento até a análise dos resultados, são descritas minuciosamente. O artigo tem como objetivo prover mais um exemplo de como estudos experimentais podem ser utilizados para suportar afirmações acerca de técnicas da Engenharia de Software.

Abstract

In this paper, we present the planning, execution, and packaging of an experimental study concerned with feasibility evaluation of the application of a modeling and simulation-based technique to support software project management. The activities that compose the process of executing an empirical software engineering study, from its planning stages to the analysis of data achieved by subjects are covered and detailed. Besides, the paper aims to be used as one more example of how empirical studies can be explored to support statements about software engineering techniques.

Palavras Chave: estudos experimentais, engenharia de software experimental, gerência de projetos

1 Introdução

Recentemente, parte da comunidade de pesquisa em Engenharia de Software está voltando suas atenções para um conjunto de técnicas agregadas sobre a denominação de Engenharia de Software Experimental. Estas técnicas descrevem como estudos experimentais podem ser realizados para buscar indícios sobre a utilidade de técnicas e mecanismos relacionados com o desenvolvimento de projetos de software. Entretanto, como o interesse pela realização de estudos experimentais nesta área é recente, as dificuldades envolvidas no planejamento e execução desses estudos ainda não foram amplamente discutidas.

A literatura apresenta alguns exemplos da utilização de estudos experimentais na avaliação e aprimoramento de técnicas relacionadas com a Engenharia de Software. Shull et al. [16] apresentam três estudos experimentais que avaliam a utilização de técnicas de leitura estruturada de diagramas UML. O primeiro experimento consiste de um estudo de viabilidade, realizado com o intuito de prover uma avaliação inicial e informações para o aprimoramento das técnicas de leitura. Após o aprimoramento das técnicas a partir das lições aprendidas no estudo de viabilidade, um estudo de observação foi realizado para que os autores acompanhassem o processo com que as técnicas são utilizadas por desenvolvedores. Finalmente, após o aprimoramento das técnicas com as lições aprendidas no segundo estudo, um estudo de caso de larga escala foi realizado.

Drappa e Ludewig [9] executaram um estudo de caso e um experimento controlado para avaliar se um conjunto de participantes aprimorariam seus conhecimentos sobre gerência de projetos de software pela simulação de modelos de projetos. Os participantes foram requisitados a responder um questionário com perguntas sobre gerenciamento de projetos e a preparar um plano para um projeto hipotético. Em seguida, alguns modelos que descreviam exemplos de projetos de software foram fornecidos aos participantes (no experimento controlado, um grupo de controle não teve acesso a estes modelos). Após diversas simulações dos modelos de projeto, cada participante foi requisitado a responder outro questionário e a preparar um novo plano para o projeto hipotético. Após a execução dos estudos, os autores verificaram se houve aprimoramento dos participantes pela comparação dos questionários e planos de projetos preparados antes e depois da utilização dos modelos.

Neste artigo, apresentamos um estudo experimental que avalia a viabilidade de utilização de um conjunto de técnicas que permitem a representação formal de conhecimento gerencial e a avaliação do impacto de se aplicar este conhecimento sobre um projeto de software. Discutimos as etapas que perfazem um estudo experimental e apresentamos como estas etapas foram realizadas no estudo em questão. O artigo apresenta os resultados obtidos durante o estudo experimental e exemplifica como estudos experimentais podem ser organizados e executados para apoiar afirmativas sobre a utilidade de técnicas de apoio ao gerenciamento de projetos de software.

O artigo está organizado em quatro seções. A primeira seção contém esta introdução. A Seção 2 apresenta brevemente as técnicas de representação de conhecimento gerencial que foram avaliadas no estudo experimental. A Seção 3 apresenta o estudo experimental propriamente dito, sendo dividida em quatro subseções que contém, respectivamente, a descrição, o planejamento, a instanciação e a análise dos resultados do estudo. Finalmente, a Seção 4 apresenta considerações finais e perspectivas futuras deste trabalho.

2 Representação de Conhecimento Gerencial como Modelos de Cenário

O desenvolvimento de sistemas de software complexos é uma tarefa de alto risco. Na indústria de software, os constantes insucessos no desenvolvimento de sistemas de larga escala [17] têm sido associados a falhas de gerenciamento, tais como problemas de comunicação, formação de equipes inconsistentes e gerenciamento de risco superficial [8]. Highsmith [12] observa que o desenvolvimento de projetos de software exige a análise cuidadosa dos objetivos a serem atingidos, preparação adequada, observação contínua do ambiente, avaliação periódica do estado do projeto e ajuste do planejamento de acordo com as alterações percebidas no ambiente.

O “modelo de decisão baseado em reconhecimento”¹ [14] sugere que os gerentes mantêm em suas mentes uma coleção de padrões relacionando problemas e soluções. Quando confrontados com problemas e oportunidades que afetem seu projeto, os gerentes constroem um modelo mental do projeto, criam modelos mentais para os problemas e oportunidades sob investigação e percorrem seu repositório de padrões em busca de ações adequadas para conter os problemas e explorar as oportunidades. Os gerentes experientes possuem um repositório de padrões mais rico e diversificado do que o repositório dos gerentes novatos, devido a experiência acumulada pela participação em um grande número de projetos no passado. Para aumentar as chances de sucesso de projetos controlados por gerentes menos experientes, seria desejável que estes gerentes compartilhassem do conhecimento dos gerentes sênior. Entretanto, como estes padrões mentais não podem ser diretamente reutilizados, torna-se necessária uma representação explícita deste conhecimento tácito.

¹ No original, “*recognition-primed decision model*”.

O gerenciamento de projetos baseado em cenários [2] oferece mecanismos para a representação formal do conhecimento gerencial e análise de seu impacto sobre o comportamento de um projeto de software. A Figura 1 apresenta os principais elementos envolvidos no gerenciamento de projetos baseado em cenários, focalizando seus principais artefatos: o *modelo de projeto* e os *modelos de cenário*. O modelo de projeto, representado pelos blocos assinalados com o símbolo “PM”, define o comportamento esperado para um projeto de software. Os modelos de cenário representam problemas e oportunidades, contendo o conhecimento tácito dos gerentes de projeto experientes.

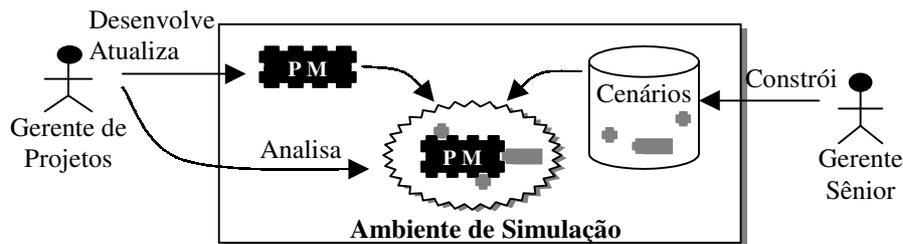


Figura 1 - Principais elementos envolvidos no gerenciamento de projetos baseado em cenários

O modelo de projeto se baseia em quatro elementos: as atividades, os desenvolvedores, os artefatos e os recursos. As atividades representam pacotes de trabalho que devem ser realizadas para a conclusão do projeto. Os desenvolvedores representam as pessoas que formam a equipe do projeto. Eles realizam as atividades utilizando recursos. Os recursos representam elementos lógicos ou físicos que são utilizados ao longo do processo de desenvolvimento, tais como computadores, pacotes de software, componentes reutilizáveis, entre outros. Finalmente, as atividades criam e evoluem artefatos de software, eventualmente consumindo outros artefatos como insumos.

Os modelos de cenário representam os eventos incertos, ações, estratégias e procedimentos gerenciais, que não podem ser considerados como parte de um projeto, mas práticas impostas ou aplicadas sobre ele. Como diversas destas práticas podem ser válidas em projetos distintos, os modelos de cenário contém conhecimento reutilizável sobre gerenciamento de projetos. Os modelos de cenário são desenvolvidos por gerentes de projeto sênior e armazenados em um repositório, conhecido como *repositório de cenários*, de onde podem ser recuperados e reutilizados por gerentes novatos.

Durante o planejamento de um projeto de software, o gerente inicialmente desenvolve um modelo de projeto com as características do processo que será utilizado no desenvolvimento do projeto. Em seguida, o gerente recupera os cenários relevantes no contexto do projeto, consultando o repositório de cenários. Finalmente, o gerente executa uma análise iterativa, onde combinações dos cenários recuperados são integrados ao modelo de projeto. O processo de integração ocorre em um ambiente de simulação, que permite avaliar o impacto provocado por cada combinação de cenários no comportamento do projeto. Estas análises permitem que o gerente teste a sensibilidade de seu projeto aos problemas incertos e oportunidades que podem afetar o projeto. À medida que o processo de desenvolvimento se desenrola, o modelo de projeto é periodicamente atualizado com informações sobre o estado do projeto e novas análises de cenário são realizadas, da mesma forma utilizada durante o planejamento.

Os modelos de projeto e cenário são modelos formais, representados segundo a Dinâmica de Sistemas. A Dinâmica de Sistemas é uma linguagem de modelagem para a descrição de sistemas complexos que focaliza os aspectos estruturais dos sistemas [10]. Esta técnica identifica e modela relações de causa-efeito e ciclos de realimentação (*feedback loops*) utilizando diagramas de fluxos. Estes diagramas são compostos por quatro elementos:

repositórios, taxas, fluxos e processos. Os repositórios descrevem elementos que podem ser acumulados ou consumidos ao longo do tempo. Um repositório é descrito por seu nível, que indica o número de elementos no repositório em um instante de tempo. As taxas descrevem variações de repositórios, formulando seu crescimento e redução através de uma equação. Os processos e os fluxos atuam como variáveis intermediárias em um modelo, servindo como blocos básicos para a construção de equações complexas para taxas.

A Dinâmica de Sistemas foi previamente utilizada na descrição de projetos de software. Abdel-Hamid e Madnick [1] desenvolveram o primeiro modelo de projeto segundo esta linguagem. O modelo descreve os efeitos de políticas e ações gerenciais tomadas durante um projeto de software. Posteriormente, outros modelos [18] [15] ampliaram o conjunto de aspectos abordados pelo modelo de Abdel-Hamid e Madnick. O modelo de projeto utilizado no gerenciamento de projetos baseado em cenários se diferencia dos modelos anteriores por sua capacidade de integração de modelos de cenário. Esta característica tornou necessárias algumas alterações no processo de construção de modelos segundo a Dinâmica de Sistemas, entre elas o aumento do nível de abstração dos modelos e a separação de fatos e incertezas em um modelo [6].

Simulação contínua é a técnica que permite a avaliação do comportamento de um modelo de projeto. Como os modelos são descritos por formulações matemáticas (equações que descrevem as taxas de variação dos repositórios), suas equações podem ser avaliadas, revelando o comportamento subjacente do modelo. A simulação de modelos de projeto isolados descreve o comportamento esperado do projeto, sem a ocorrência dos problemas e oportunidades documentados nos cenários. A integração de uma combinação de modelos de cenário a um modelo de projeto pode provocar alterações no comportamento do projeto (através de alterações nas equações de suas taxas ou da inclusão de novas taxas associadas aos repositórios originais do modelo de projeto). A simulação de um modelo de projeto com um determinado cenário demonstra o impacto potencial da ocorrência do problema ou oportunidade representada no modelo de cenário sobre o comportamento do projeto. Este tipo de simulação, quando comparada a simulação do modelo de projeto sem a integração de cenários, apresenta ao gerente a sensibilidade do projeto à ocorrência dos eventos descritos nos modelos de cenário.

3 O Estudo Experimental

Após o estabelecimento das bases para a construção, a integração e a simulação de modelos de cenário e projeto, decidimos realizar um estudo para avaliar a viabilidade de utilização das técnicas propostas na gerência de projetos. Neste estudo, focalizamos a aplicação de modelos de cenário no gerenciamento de projetos, ao invés da construção de novos cenários, visto que procuramos evidências da viabilidade destes modelos para justificar o esforço a ser investido no desenvolvimento de melhores ferramentas para a construção de modelos de projeto e cenário.

A realização de um estudo experimental geralmente pode ser dividida em cinco fases: a definição, o planejamento, a execução, a análise e o empacotamento do estudo [20]. A definição do estudo consiste em resumir seus objetivos, seu foco de qualidade e os objetos que serão analisados. O planejamento envolve a descrição do perfil dos participantes, dos instrumentos, do processo de execução e uma avaliação crítica dos problemas que podem ser encontrados ao longo desta execução. A execução consiste na realização do estudo experimental pelos participantes, utilizando os instrumentos e o processo definidos no planejamento. A análise consiste na organização dos resultados gerados pelos participantes durante a execução e a realização de inferências sobre estes resultados. Finalmente, o empacotamento consiste na organização e armazenamento dos documentos construídos nas

etapas anteriores, com o intuito de facilitar a repetição do estudo experimental no futuro. Por exemplo, este artigo faz parte do pacote do estudo apresentado nas próximas subseções.

As etapas de descrição e planejamento do estudo apresentado nas próximas subseções foram realizadas ao longo de três meses, entre março e maio de 2001. O plano do experimento, que é descrito em tempo verbal futuro (simbolizando a precedência do plano à execução) na seção 3.2, foi revisto por três pesquisadores até que, em sua sétima revisão, não foram encontradas alterações que justificassem uma nova versão do documento. A instrumentação do estudo, que inclui o desenvolvimento de um emulador de projetos de software, consumiu o trabalho de um desenvolvedor experiente ao longo de dois meses.

O plano de experimento segue um modelo proposto por Wohlin et al. [20], com algumas alterações propostas pelos autores. Estas alterações tiveram como objetivo principal retirar do planejamento as informações específicas de uma execução do estudo experimental, visando a facilitar a reutilização do plano em uma futura repetição do estudo. Assim, o planejamento contém apenas a estrutura genérica do estudo, que deve ser especializada para cada repetição. Como consequência, a execução do estudo foi precedida por uma nova etapa, denominada *instanciação*, onde as informações do planejamento são especificadas de acordo com as características do contexto em que o estudo será executado. Outras alterações propostas para o modelo do plano de experimento consistem na inclusão de parágrafos descrevendo o contexto do estudo e o plano do projeto piloto.

3.1 Definição do Estudo Experimental

Objeto de Estudo: a utilização das técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário no gerenciamento de um projeto de desenvolvimento de software para avaliação do comportamento deste projeto.

Objetivo: identificar a viabilidade de utilização das técnicas de integração e simulação de modelos no gerenciamento de projetos de desenvolvimento de software.

Foco de Qualidade: os ganhos obtidos pela utilização das técnicas propostas, medidos através do custo e tempo de desenvolvimento de projetos gerenciados com o apoio destas técnicas, e as dificuldades encontradas pelos usuários em seu entendimento e utilização.

Perspectiva: o estudo será desenvolvido sob a ótica do pesquisador, avaliando a viabilidade de utilização das técnicas de integração e simulação de modelos, tendo em vista a continuidade do desenvolvimento das pesquisas relacionadas com estas técnicas. Neste estudo não estamos diretamente interessados no tempo necessário para a utilização das técnicas propostas. Entretanto, consideramos que melhorias neste tempo podem ser identificadas através de análises e estudos futuros.

Contexto: o gerenciamento de um projeto de desenvolvimento de software definido em laboratório com comportamento determinado por um gerador de eventos aleatórios baseado em projetos reais. O estudo será conduzido no formato de múltiplos testes sobre um objeto.

Desta forma, utilizando uma notação baseada em GQM [19], temos:

Analisar a utilização das técnicas de integração e simulação no gerenciamento de projetos
Com o propósito de avaliar a viabilidade de sua utilização e continuidade de desenvolvimento
Referente aos ganhos obtidos por sua utilização e as dificuldades de sua utilização
Do ponto de vista do pesquisador
No contexto de gerenciamento de projetos de desenvolvimento de software.

3.2 Planejamento do Estudo Experimental

Contexto Global: as técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário são um subconjunto do paradigma de gerenciamento de projetos baseado em cenários [4]. A modelagem dinâmica de projetos de software [10], a utilização do metamodelo baseado em classes e relacionamentos [5], a construção e validação de modelos de cenário [7], a construção e validação de arquétipos de risco [3] [4] se unem às técnicas sob avaliação para compor o paradigma. Estas técnicas podem ser classificadas em dois grupos: as técnicas de construção e as técnicas de utilização. As técnicas de construção se referem à representação de processos de software como modelos de projeto, a criação de conhecimento gerencial e sua representação sob a forma de cenários. Estas técnicas são aplicáveis em um ambiente de pesquisa (ambientes acadêmicos e grupos de pesquisa dentro de empresas), onde o conhecimento será elucidado e formalizado em modelos de cenário. As técnicas de utilização se referem ao uso de modelos de projeto e cenário no gerenciamento de projetos de software. Estas técnicas são utilizadas na indústria (por gerentes de projetos em empresas de desenvolvimento de software), integrando o conhecimento gerado no ambiente de pesquisa com as descrições dos projetos industriais para avaliação de seu comportamento.

Contexto Local: este estudo tem como intenção avaliar a viabilidade da utilização das técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário no gerenciamento de projetos de software. Os participantes do estudo serão requisitados a gerenciar um mesmo projeto de desenvolvimento de software, cujo comportamento será determinado por uma máquina de geração de eventos aleatórios. Devido às características estocásticas desta máquina, cada participante observará um comportamento diferente, embora o projeto seja o mesmo para todo o estudo. Um conjunto dos participantes será treinado na utilização das técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário, enquanto os demais participantes utilizarão apenas as técnicas de gerência aprendidas nos cursos de graduação e pós-graduação.

Treinamento: o treinamento dos participantes que utilizarão as técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário será realizado em uma sala de aula, em sessão única com duração estimada de duas horas. O treinamento será composto de duas fases, que poderão ser interrompidas a qualquer momento pelos participantes para perguntas. Na primeira fase, realizaremos uma exposição sobre simulação e sobre as técnicas propostas, utilizando um conjunto de transparências que também serão distribuídas para os participantes. Na segunda fase, apresentaremos um caso de uso das técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário. Neste caso de uso, os participantes poderão acompanhar o processo de integração de um cenário a um modelo de projeto, a simulação do modelo integrado e a interpretação dos gráficos resultantes da simulação.

Projeto Piloto: antes da execução do estudo, realizaremos um projeto piloto com a mesma estrutura descrita neste planejamento. Para o projeto piloto, selecionaremos apenas dois participantes. Um participante será treinado na utilização das técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenários e utilizará estas técnicas no gerenciamento do projeto proposto. O outro participante realizará o gerenciamento do projeto utilizando apenas os conhecimentos adquiridos durante sua formação acadêmica e suas experiências na indústria. Os participantes utilizarão o mesmo material descrito neste documento, entretanto com acompanhamento integral do realizador do estudo. Sendo assim, o projeto piloto será um estudo baseado em observação. Ele não visa extrair qualquer resultado dos

participantes, mas encontrar problemas no material planejado para o estudo, permitindo que este material seja aprimorado antes de sua utilização.

Participantes: os participantes do estudo serão um conjunto de desenvolvedores de software. O estudo não será executado em um ambiente da indústria de desenvolvimento de software, mas em um ambiente acadêmico. A capacidade de generalização deste estudo é discutida adiante, quando avaliamos as limitações e problemas que podem ser encontrados durante sua execução.

Instrumentação: cada participante deverá atuar como o gerente de um projeto de software. O projeto proposto tem como objetivo o desenvolvimento de parte de um sistema de controle acadêmico. Este sistema controla as informações sobre professores, alunos, áreas de pesquisa, disciplinas e inscrições em cursos. O sistema é considerado de pequeno porte, possuindo cerca de sessenta e sete (67) pontos de função ajustados [13] e seis (6) entidades em seu projeto de alto nível. Como o custo de realização de diversos projetos reais com características similares (formação da equipe, conhecimento do domínio pelo equipe, atividades a serem realizadas, entre outros) para cada participante seria proibitivo para o estudo experimental, decidimos desenvolver e utilizar um emulador de projetos de software. Todos os participantes receberão um software (emulador) que apresentará uma representação gráfica do projeto que será desenvolvido. O emulador controla o comportamento do projeto, registrando seu tempo e custo ao longo do tempo e apresentando seu estado para o usuário. O emulador também permite que o usuário execute comandos, que representam suas decisões enquanto gerente do projeto. Pontos de decisão incluem a determinação dos desenvolvedores responsáveis por executar cada atividade, a decisão sobre o esforço que será investido em atividades de controle de qualidade e a definição do número de horas que cada desenvolvedor trabalhará por dia. Todos os participantes receberão também um questionário de caracterização (Q1), para levantamento de sua formação e experiência. Os participantes treinados na utilização das técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário receberão ainda um kit contendo um conjunto de cenários, um modelo de projeto e um simulador para utilização das técnicas propostas. O kit inclui ainda um questionário (Q2) para avaliação da satisfação do usuário na utilização destas técnicas. O pacote do estudo experimental, com a descrição completa de seus instrumentos, questionários e termos está apresentado em [2].

Crítérios: o foco de qualidade do estudo exige critérios que avaliem os ganhos proporcionados pela utilização das técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário e as dificuldades encontradas pelos usuários na utilização destas técnicas. Os ganhos obtidos pela utilização das técnicas serão avaliados quantitativamente, através do tempo e custo de desenvolvimento do projeto gerenciado pelos participantes durante o estudo. Reconhecemos que o tempo e o custo podem não ser os aspectos mais relevantes em um projeto de software. Entretanto, estes critérios foram selecionados dada a necessidade de critérios quantitativos para comparação do desempenho dos participantes. A máquina geradora de eventos aleatórios que controla o projeto utilizado no estudo será responsável por contabilizar estes dados, que determinarão a performance dos participantes. As dificuldades encontradas pelos usuários na utilização das técnicas serão avaliadas através de dados qualitativos, levantados com base no questionário Q2. Este questionário será distribuído aos participantes que utilizarem as técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário após a realização do estudo.

Hipótese Nula: a hipótese nula é uma afirmativa que o estudo experimental tem como objetivo negar. No estudo atual, a hipótese nula determina que a utilização das técnicas de

integração e simulação de modelos de projeto e cenário não produz benefícios no gerenciamento de projetos de desenvolvimento de software. De acordo com os critérios selecionados, esta hipótese se traduz na inexistência de diferenças significativas no custo e tempo para conclusão dos projetos de desenvolvimento de software gerenciados por participantes utilizando estas técnicas em relação a projetos gerenciados utilizando-se técnicas convencionais de gerência.

$$H_0: \mu_{\text{custo sem técnicas}} = \mu_{\text{custo com técnicas}} \text{ e } \mu_{\text{tempo sem técnicas}} = \mu_{\text{tempo com técnicas}}$$

Hipótese Alternativa: a hipótese alternativa é uma afirmativa que nega a hipótese nula. O estudo experimental tem como objetivo provar a hipótese alternativa, refutando assim a hipótese nula. No estudo atual, a hipótese alternativa determina que os participantes do estudo que utilizarem as técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário terão resultados superiores aos participantes que utilizarem apenas as técnicas convencionais de gerência de projetos. De acordo com os critérios selecionados, esta hipótese se traduz em menor custo e tempo para conclusão dos projetos gerenciados por participantes utilizando as técnicas propostas em relação a projetos gerenciados utilizando-se as técnicas convencionais.

$$H_1: \mu_{\text{custo sem técnicas}} > \mu_{\text{custo com técnicas}} \text{ e } \mu_{\text{tempo sem técnicas}} > \mu_{\text{tempo com técnicas}}$$

Variáveis Independentes: a principal variável independente do estudo é um indicador que determina se cada participante utilizou ou não as técnicas de gerenciamento baseado em cenários (escala nominal). A formação e a experiência dos participantes, medidas em uma escala nominal, também são informações independentes coletadas durante o estudo (pelo questionário Q1) que poderão ser utilizadas durante a análise para a formação de blocos.

Variáveis Dependentes: as variáveis dependentes são o custo e tempo de desenvolvimento do projeto cujo comportamento é determinado pela máquina de geração de eventos aleatórios utilizada no estudo. Este comportamento é sensível às decisões tomadas pelo gerente de projeto, cujo papel será cumprido pelos participantes do estudo. O custo será medido em reais (escala razão), de acordo com o número de homens/hora consumidos durante o projeto e o custo da hora de trabalho de cada desenvolvedor selecionado pelo gerente. O tempo de desenvolvimento será medido em dias (escala razão), indicando o tempo necessário para a conclusão do projeto desde sua data de início.

Análise Qualitativa: tem o objetivo de avaliar a dificuldade de aplicação das técnicas propostas e a qualidade do material utilizado no estudo. A análise qualitativa será realizada através do questionário Q2. A dificuldade de aplicação das técnicas propostas será avaliada por perguntas envolvendo a utilidade das técnicas e a dificuldade de interpretação dos resultados apresentados por elas. A qualidade do material utilizado no estudo será avaliada por perguntas que tratam da utilidade dos cenários entregues aos usuários, da qualidade do treinamento oferecido e da descrição inicial do problema. Nesta avaliação temos a intenção de verificar se o material está influenciando os resultados do estudo.

Capacidade Aleatória: pode ser exercida na seleção dos participantes do estudo e na distribuição dos objetos de análise entre os participantes. Idealmente os indivíduos que realizarão o estudo devem ser selecionados aleatoriamente dentre o universo de candidatos a participantes, ou seja, dentre o conjunto das pessoas disponíveis que atendam aos critérios especificados no parágrafo *Participantes*. Entretanto, se a seleção aleatória não for possível, ao menos os objetos de análise devem ser distribuídos aleatoriamente entre os participantes.

Classificação em Bloco: a princípio, não identificamos a necessidade de dividir os participantes em blocos, visto que o estudo avaliará apenas um fator, que é a utilização das técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário. Um único bloco será capaz de determinar o efeito deste fator sobre os resultados do estudo. Entretanto, a coleta de dados sobre a formação e a experiência dos participantes permitirá sua futura classificação e a organização de blocos durante a análise dos dados.

Balanceamento: durante a realização do estudo nos limitaremos a distribuir um número similar de participantes na utilização das técnicas propostas e na utilização de técnicas tradicionais. Durante a análise, após a eliminação dos valores extremos, procuraremos um balanceamento, se este for possível.

Mecanismos de Análise: o estudo proposto se classifica com um experimento de dois tratamentos sobre um mesmo objeto, onde as variáveis dependentes são representadas na escala razão. Além disso, o estudo compara as médias dos resultados obtidos pelos participantes dos dois grupos. Potenciais mecanismos de análise para este tipo de estudo são o teste T e o teste de Mann-Whitney. O teste T [20] é um procedimento paramétrico de análise estatística baseado na distribuição T, que compara se as médias de dois grupos são equivalentes (de acordo com um grau de certeza, tal como 90% ou 95%) de acordo com suas variâncias. O teste de Mann-Whitney [20] é um procedimento não-paramétrico de análise estatística baseado no ranqueamento dos resultados obtidos pelos participantes.

Validade Interna do Estudo: a validade interna de um estudo é definida como a capacidade de um novo estudo repetir o comportamento do estudo atual com os mesmos participantes e objetos com que ele foi realizado. A validade interna do estudo é dependente do número de participantes executando o estudo. Esperamos contar com pelo menos oito participantes, o que garante um bom nível de validação interna do estudo. Certamente, um número maior de participantes melhoraria a validade interna do estudo. Outro ponto que pode influenciar o resultado do estudo é a troca de informações entre os participantes que já realizaram o estudo e os que não o realizaram. Para evitar este problema, requisitaremos explicitamente que os participantes não troquem informações a respeito do projeto. Tentaremos ainda realizar o estudo em uma única sessão, onde os participantes trabalharão paralelamente, sem trocar informações. Finalmente, o projeto não será apresentado como uma competição, inibindo a comparação de resultados entre os participantes.

Validade Externa do Estudo: a validade externa do estudo mede sua capacidade de refletir o mesmo comportamento em outros grupos de participantes e profissionais da indústria, ou seja, em outros grupos além daquele em que o estudo foi aplicado. Acreditamos que o maior problema em relação à validade externa do estudo é a falta de interesse dos participantes no próprio estudo. Alguns indivíduos podem realizar o estudo de forma desleixada, sem um interesse real no desenvolvimento do projeto em menor custo ou tempo. A validade externa do estudo é considerada suficiente, visto que o presente estudo visa avaliar a viabilidade de aplicação das técnicas de gerenciamento baseado em cenários. Demonstrada esta viabilidade, novos estudos podem ser planejados para refinar o universo de aplicação das técnicas.

Validade de Construção do Estudo: a validade de construção do estudo se refere à relação entre os instrumentos e participantes do estudo e a teoria que está sendo provada por este. Neste caso, escolhemos um domínio de aplicação amplamente conhecido, neutralizando o efeito da experiência dos participantes no domínio. Esta escolha evita que experiências anteriores gerem uma interpretação incorreta do impacto das técnicas

propostas. Os dados que serão utilizados para calibrar o processo de referência dizem respeito a projetos previamente desenvolvidos e a dados presentes na literatura, reduzindo o erro de ajuste no modelo. Além disso, o estudo não visa avaliar a correção do cenário, mas a capacidade de utilização destes cenários no gerenciamento. Assim, os cenários serão compatíveis com os eventos aleatórios gerados pela máquina que controla o projeto.

Validade de Conclusão do Estudo: a validade de conclusão do estudo mede a relação entre os tratamentos e os resultados, determinando a capacidade do estudo em gerar alguma conclusão. Não encontramos grandes dificuldades em relação à capacidade de conclusão do estudo, visto que esta pode ser traçada a partir de um mecanismo de análise estatística amplamente utilizado, como o teste T (as escalas das variáveis dependentes e independente assim o permitem). O teste T possui alto poder estatístico e não assume normalidade ou qualquer outra distribuição nos dados analisados. Além disso, o estudo utiliza medidas objetivas, o que neutraliza a influência humana sobre os dados apurados e analisados.

3.3 Execução do Estudo Experimental

Seleção dos Participantes: para a presente execução do estudo, selecionamos os participantes dentre os alunos dos cursos de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Software de um programa de pós-graduação em Computação e alunos do curso de graduação em Informática da mesma universidade. Estes participantes atendem às restrições indicadas no planejamento (vide seção 3.2, parágrafo *Participantes*), visto que são desenvolvedores de software. Os participantes foram selecionados por conveniência, representando um subconjunto não aleatório do universo de alunos das instituições supracitadas.

Instrumentação: o emulador de projetos de desenvolvimento de software “*Manager Master*” [2] foi desenvolvido para permitir a realização do experimento. Este software contém o modelo do projeto de software selecionado para o experimento, assim como os cenários que serão aplicados sobre este modelo. O emulador de projetos foi utilizado por todos os participantes do estudo experimental, recebendo as decisões dos participantes sobre a distribuição dos desenvolvedores nas atividades do processo, o tempo de trabalho diário de cada desenvolvedor e o tempo dedicado às atividades de controle de qualidade. O emulador de projetos calcula os resultados destas decisões sobre o tempo e o custo do projeto, apresentando estes resultados para o usuário. O sistema funciona em turnos, ou seja, tomadas todas as decisões desejadas para um determinado instante do projeto, o participante comanda o avanço de um dia no projeto. A passagem de um dia gera novas informações sobre o comportamento do projeto, que podem ser utilizadas pelo participante para novas decisões. O sistema prossegue desta forma até que o projeto seja encerrado. O emulador de projetos é acompanhado de um manual do usuário, que será lido pelos participantes antes de sua utilização no estudo.

Procedimentos de Participação: existem dois procedimentos distintos de participação no estudo. O primeiro é seguido pelos participantes que não utilizarão as técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenários, enquanto o segundo procedimento é utilizado pelos participantes que utilizarão estas técnicas.

Procedimento de Participação sem a Utilização das Técnicas Propostas

- Participante chega ao local de realização do estudo experimental
- Participante assina o termo de adesão ao estudo

- Responsável pelo estudo experimental associa um número ao participante
- Participante recebe treinamento com base nas transparências
- Participante lê o manual do usuário do emulador de projeto “Manager Master”
- Responsável pelo estudo experimental anota o número do participante no questionário Q1
- Participante preenche o questionário Q1
- Participante entrega o questionário Q1 para o responsável pelo estudo experimental
- Responsável pelo experimento guarda o questionário Q1 na pasta do estudo
- Participante executa o emulador de projeto “Manager Master”
- Participante decide a melhor configuração de decisões a serem tomadas
- Participante aplica suas decisões no emulador de projeto “Manager Master”
- Responsável pelo estudo experimental anota a performance do participante em seu registro

Procedimento de Participação com a Utilização das Técnicas Propostas

- Participante chega ao local de realização do estudo experimental
- Participante assina o termo de adesão ao estudo
- Responsável pelo estudo experimental associa um número ao participante
- Participante recebe treinamento com base nas transparências
- Participante lê o manual do usuário do emulador de projeto “Manager Master”
- Responsável pelo estudo experimental anota o número do participante no questionário Q1
- Participante preenche o questionário Q1
- Participante entrega o questionário Q1 para o responsável pelo estudo experimental
- Responsável pelo estudo guarda o questionário Q1 na pasta do estudo experimental
- Participante executa o emulador de projeto “Manager Master”
- Participante executa a ferramenta de simulação “Hector”
- Participante carrega o modelo do projeto proposto
- Participante abre o ambiente de simulação
- Participante realiza simulações de configurações de decisões a serem tomadas
- Participante decide a melhor configuração de decisões a serem tomadas no projeto
- Participante aplica suas decisões no emulador de projeto “Manager Master”
- Responsável pelo estudo anota a performance do participante em seu registro
- Responsável pelo estudo anota o número do participante no questionário Q2
- Participante preenche o questionário Q2
- Participante entrega o questionário Q2 para o responsável pelo estudo
- Responsável pelo estudo guarda o questionário Q2 na pasta do estudo experimental

Tabela 1 – Informações detalhadas sobre os participantes do estudo experimental

ID	Utilizou as Técnicas?	Formação	Exp. Desenvolvimento	Exp. Liderança
1	Sim	MSc	Indústria (3 anos)	Indústria (1 ano)
2	Sim	DSc	Uso pessoal	Nenhuma
3	Sim	MSc	Academia (6 projetos)	Academia
4	Sim	MSc	Academia (3 projetos)	Nenhuma
5	Sim	MSc	Indústria (0,5 ano)	Academia
6	Sim	MSc	Indústria (3 anos)	Academia
7	Sim	MSc	Indústria (2 anos)	Nenhuma
8	Sim	DSc	Indústria (2 anos)	Indústria (1 ano)
9	Sim	MSc	Academia (2 projetos)	Nenhuma
10	Não	MSc	Indústria (3 anos)	Nenhuma
11	Não	Graduando	Academia (1 projetos)	Nenhuma
12	Não	DSc	Indústria (10 anos)	Indústria (4 anos)
13	Não	DSc	Indústria (3 anos)	Indústria (2 anos)
14	Não	MSc	Indústria (4 anos)	Indústria (2 anos)
15	Não	MSc	Indústria (4 anos)	Indústria (2 anos)
16	Não	MSc	Indústria (1 ano)	Nenhuma
17	Não	MSc	Indústria (4 anos)	Indústria (2 anos)
18	Não	MSc	Indústria (10 anos)	Indústria (2 anos)

Execução: a Tabela 1 resume as informações sobre os participantes do estudo experimental. Nove pessoas participaram do estudo experimental no primeiro dia. Estes participantes foram inicialmente treinados na utilização das técnicas de integração e simulação de modelos de cenário e projeto. O treinamento se estendeu por uma hora e cinco minutos. Em seguida, os participantes foram divididos em dois grupos que realizaram o estudo em seqüência. O primeiro grupo, composto por quatro participantes, realizou o estudo em uma hora. O segundo grupo, composto por cinco pessoas, realizou o estudo em uma hora e vinte minutos. Todos os participantes de ambos os grupos (2 DSc e 7 MSc) aplicaram as técnicas propostas na realização do estudo experimental. Durante os sete dias seguintes da realização do estudo pelos dois grupos, nove outros participantes realizaram o estudo, em diferentes dias e horários, sem a aplicação das técnicas de integração e simulação de modelos de cenário e projeto (1 DSc, 7 MSc e 1 graduando). Dentre estes participantes, oito (8) indivíduos haviam sido líderes em projetos industriais, três (3) haviam sido líderes em projetos acadêmicos e sete (7) indivíduos nunca foram líderes de projetos. Destes últimos sete (7) participantes, seis (6) possuíam experiência em desenvolvimento de software em ambiente industrial ou acadêmico.

3.4 Análise dos Resultados do Estudo Experimental

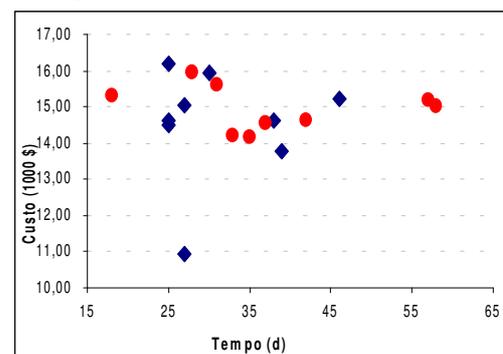
Avaliação do Treinamento: o treinamento foi aplicado apenas para os participantes que utilizaram as técnicas de integração e simulação de cenários no estudo experimental. Embora este treinamento tenha sido relativamente longo, ocupando cerca de uma hora, este tempo seria melhor aproveitado se incluísse uma demonstração do simulador de modelos e do emulador de projetos de software. Diversos participantes perceberam a necessidade de mais treinamento (ID 2, 3, 6, 7 e 9), um dentre eles sugerindo especificamente a apresentação de um exemplo (ID 2).

Aprimoramento do Treinamento: Sugere-se, para uma replicação do estudo experimental, que as ferramentas a serem utilizadas no estudo sejam apresentadas aos participantes durante o treinamento. Este deve também permitir que os participantes treinem o processo de análise e tomada de decisão em um projeto menor, diferente do utilizado no estudo, antes de sua realização. Da mesma forma, seria desejável que os participantes que não aplicaram as técnicas propostas tivessem algum treinamento, principalmente na utilização do emulador de projetos de software. Este treinamento reduziria a necessidade de intervenção de um organizador do estudo experimental para resolução de dúvidas durante sua realização.

Tabela 2 – Resultados obtidos no estudo experimental

ID	Tempo (dias)	Custo (\$)
1	39	13.761,13
2	38	14.614,76
3	25	14.634,92
4	25	14.487,90
5	25	16.207,31
6	30	15.940,38
7	27	10.950,00
8	46	15.213,76
9	27	15.031,63

ID	Tempo (dias)	Custo (\$)
10	18	15.301,65
11	28	15.951,81
12	37	14.549,69
13	33	14.217,86
14	31	15.610,33
15	42	14.643,40
16	35	14.175,59
17	57	15.169,84
18	58	14.999,12



Avaliação Quantitativa: a análise quantitativa do estudo experimental pode ser separada em análise de tempo e análise de custo. Cada uma destas análises foi realizada em três etapas: eliminação de valores extremos, teste paramétrico de média e teste não paramétrico de média. Os resultados obtidos no estudo experimental são apresentados na Tabela 2.

Eliminação de Valores Extremos: tendo coletado as informações de tempo e custo através do emulador de projetos, passamos para a etapa de eliminação de valores extremos. Nesta etapa, aplicamos um corte baseado na distribuição T em 98% [11]. Este método de corte é análogo ao corte pela curva normal, devendo ser utilizado quando não se pode assumir que a população analisada segue uma distribuição normal e o universo de análise contém um número reduzido de informações ($n < 30$). Na análise de tempo de conclusão do projeto, o corte T eliminou dois participantes do grupo que utilizou as técnicas propostas e três participantes do grupo que não utilizou as técnicas. Na análise de custo do projeto, o corte T eliminou dois participantes do primeiro grupo e quatro participantes do segundo grupo. A Tabela 3 apresenta os resultados do experimento, grifando os valores eliminados pelo corte T. A Tabela 4 apresenta estatísticas descritivas sobre os resultados do estudo após a eliminação dos valores extremos;

Tabela 3 – Resultados obtidos no estudo experimental

ID	Tempo (dias)	Custo (\$)	ID	Tempo (dias)	Custo (\$)
1	39	13.761,13	10	48	15.301,65
2	38	14.614,76	11	28	15.951,81
3	25	14.634,92	12	37	14.549,69
4	25	14.487,90	13	33	14.217,86
5	25	16.207,31	14	31	15.610,33
6	30	15.940,38	15	42	14.643,40
7	27	10.950,00	16	35	14.175,59
8	46	15.213,76	17	57	15.169,84
9	27	15.031,63	18	58	14.999,12

Tabela 4 – Estatísticas descritivas sobre os resultados do estudo (após a eliminação de valores extremos)

Estatística	Tempo (d)	Custo (\$)	
Com Técnicas	Média	28,1	14.812,07
	Mediana	27,0	14.634,92
	Mínimo	25,0	14.549,69
	Máximo	38,0	15.301,65
	Desvio padrão	4,7	678,54
Sem Técnicas	Média	34,3	14.932,74
	Mediana	34,0	14.999,12
	Mínimo	28,0	13.761,13
	Máximo	42,0	15.940,38
	Desvio padrão	4,9	326,79

Teste Paramétrico: os dados que permaneceram após a eliminação de valores extremos foram submetidos a uma análise paramétrica baseada na distribuição T [20]. Na análise de tempo, o teste T foi conclusivo no sentido de afirmar que o tempo médio que os participantes que utilizaram as técnicas de integração e simulação de modelos levaram para concluir o projeto proposto foi inferior ao tempo médio que os participantes que não aplicaram estas técnicas levaram para concluir o projeto. Os resultados intermediários do teste T para o critério tempo são apresentados na Tabela 5. O teste T para análise de custo foi inconclusivo, o que não nos permite afirmar nada em relação

aos custos do projeto. Entretanto, observamos que, com relação ao critério custo, a mediana do grupo que utilizou as técnicas propostas é menor que a mediana do grupo que não utilizou estas técnicas. Observamos ainda que a diferença entre as medianas é significativamente maior do que a diferença entre as médias. Esta diferença indica que as distribuições que modelam os grupos não são simétricas e que a distribuição do grupo que aplicou as técnicas está concentrada em torno de custos menores;

Tabela 5 – Resultados intermediários do Teste T

Teste T para análise do tempo (95%)				
Desvio	T_0	Liberdade	Distribuição T	Resultado ($T_0 < -T$)
4,79	-2,32	11	2,20	$\mu_{\text{sem modelos}} > \mu_{\text{com modelos}}$

Teste Não-Paramétrico: com o objetivo de aferir as conclusões do teste T, os dados previamente analisados foram submetidos a um teste estatístico não-paramétrico: o teste de Mann-Whitney [20]. Este teste, que se baseia na ordenação e no ranqueamento dos dados analisados, chegou às mesmas conclusões do teste T;

Conclusão: embora os testes estatísticos relacionados com o custo sejam inconclusivos, o sucesso dos testes relacionados com o tempo para conclusão do projeto nos leva a concluir que as técnicas de integração e simulação de modelos de cenário e projeto são viáveis e auxiliam um gerente no planejamento e controle de seu projeto. Abaixo, apresentamos a análise qualitativa, realizada com o intuito de apresentar novas direções de pesquisa e de aprimoramento das técnicas.

Avaliação Qualitativa: em uma replicação do estudo experimental devemos considerar alguns pontos, vistos como limitações de sua primeira execução.

Descrição do Problema: é preciso descrever o sistema que será desenvolvido de forma mais detalhada. Dois participantes sugeriram que os objetivos da empresa em relação ao projeto (qualidade, tempo e custo) sejam indicados na apresentação do projeto (ID 4 e 9). O objetivo de qualidade foi explicitamente citado por um participante (ID 4), o que nos leva a crer que as condições de encerramento das atividades de teste devem ser melhor indicadas;

Aprimoramento da Descrição: A apresentação do sistema deve ser realizada junto com o treinamento, de forma a que todos os participantes estejam sujeitos ao mesmo contexto. A utilização de uma descrição textual do projeto exigiu a resolução de diversas dúvidas dos participantes: seria desejável apresentar a rede de tarefas construída para o projeto, detalhando como a duração de cada tarefa foi estimada. Finalmente, a descrição deve indicar as condições de parada das atividades de teste;

Folha de Consentimento: devemos reavaliar o cabeçalho da folha de consentimento de participação no estudo experimental, expressando nesta que a participação no estudo não incorrerá em prejuízo na avaliação do participante, independente dos resultados obtidos por ele no estudo experimental;

Participação em Grupos: seria desejável que os participantes treinados com as técnicas propostas realizassem o estudo paralelamente. A divisão em dois grupos, tal como no primeiro dia da realização do estudo, permite que os participantes do segundo grupo tenham mais tempo para refletir sobre as técnicas recentemente aprendidas antes de aplicá-las no estudo experimental. Embora nenhuma diferença considerável possa ser percebida nos resultados desta execução do estudo, tal pode ocorrer em outro contexto;

Instrumentação: alguns participantes expressaram dificuldades na utilização do simulador de modelos de projetos e cenários. Estas dificuldades estão relacionadas com a visualização de tempo e custo em um mesmo eixo vertical (ID 2), a incapacidade de perceber a rede de atividades do projeto (ID 6) e de associar um resultado do gráfico a uma determinada atividade ou decisão (ID 9). Tais dificuldades já haviam sido antecipadas no projeto piloto e demandam alguns aprimoramentos no simulador como, por exemplo, a utilização de dois eixos independentes nos gráficos de resultado, a limitação do universo dos valores que um parâmetro do modelo pode assumir e a apresentação gráfica da rede de tarefas do projeto. Em relação ao emulador de projetos, foi ressaltada a necessidade de apresentação mais clara da duração das tarefas e de soluções para tornar alguns comandos desnecessários (como a definição da equipe de desenvolvimento). Também foi ressaltada a necessidade de captura das decisões tomadas por cada participante, ao invés de capturar apenas o resultado final (tempo e custo do projeto), conforme foi feito na primeira execução do estudo experimental. Este avanço deverá facilitar a “depuração” dos resultados do estudo.

4 Considerações Finais e Perspectivas Futuras

Estudos experimentais vêm sendo utilizados para apresentar indícios da utilidade de técnicas propostas para compor o corpo de conhecimento da Engenharia de Software. Entretanto, em decorrência do interesse recente por estes estudos nesta linha de pesquisa, pouco se conhece sobre as dificuldades de sua realização. Neste artigo, apresentamos um estudo experimental que avaliou a viabilidade de utilização de um conjunto de técnicas de modelagem e simulação no apoio à gerência de projetos de software. As análises qualitativas e quantitativas realizadas como parte do estudo fornecem indícios de que os participantes que utilizaram as técnicas propostas obtiveram melhores resultados em termos de tempo de desenvolvimento e custo de um projeto.

Consideramos que, além de apresentar brevemente as técnicas analisadas e os resultados do estudo experimental, as contribuições deste trabalho incluem a apresentação de um plano de experimento completo, cobrindo as etapas de definição, planejamento, instanciação e análise de resultados, e um modelo para o plano de experimento com características que facilitem sua reutilização em uma futura repetição do estudo experimental. Como trabalhos futuros, podemos incluir a repetição do estudo experimental em outros contextos, de forma a verificar se seus resultados se repetem e se as alterações propostas no modelo do plano de experimento foram válidas. Além disso, no contexto das técnicas de integração e simulação de modelos de projeto e cenário, as lições aprendidas e limitações já encontradas na primeira execução do estudo indicam possibilidades de trabalhos futuros, como o aprimoramento do simulador e do emulador de projetos de software.

Referências Bibliográficas

- [1] Abdel-Hamid, T., Madnick, S.E. (1991) *Software Project Dynamics: an Integrated Approach*, Prentice-Hall Software Series, Englewood Cliffs, New Jersey
- [2] Barros, M.O. (2001) *Gerenciamento de Projetos Baseado em Cenários: uma Abordagem de Modelagem Dinâmica e Simulação*, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ (Dezembro)
- [3] Barros, M.O.; Werner, C.M.L.; Travassos, G.H. (1999) ‘Risk Analysis: a Key Success Factor for Complex System Development’, *Proceedings of the 12th International Conference in Software & System Engineering and their Applications*, Paris, FR (Dezembro)

- [4] Barros, M.O.; Werner, C.M.L.; Travassos, G.H. (2001a). ‘Towards a Scenario Based Project Management Paradigm’. *Relatório Técnico 543/01*, COPPE/UFRJ (Fevereiro)
- [5] Barros, M.O.; Werner, C.M.L.; Travassos, G.H. (2001b). ‘From Metamodels to Models: Organizing and Reusing Domain Knowledge in System Dynamics Model Development’, *Proceedings of the XIX System Dynamics Conference*, Atlanta, USA (Julho)
- [6] Barros, M.O.; Werner, C.M.L.; Travassos, G.H. (2002a) ‘Project Management Knowledge Reuse Through Scenario Models’, *Proceedings of the 7th International Conference on Software Reuse*, Austin, USA (Maio)
- [7] Barros, M.O.; Werner, C.M.L.; Travassos, G.H. (2002b) ‘Enhancing Metamodels with Scenarios: Plug-&-Simulate Extensions for Model Developers’, *Proceedings of the XX System Dynamics Conference*, Palermo, Itália (Julho), a ser publicado
- [8] Brown, N. (1996) ‘Industrial-Strength Management Strategies’, *IEEE Software*, Vol. 13, No. 4, pp 94–103 (July)
- [9] Drappa, A.; Ludewig, J. (2000) ‘Simulation in Software Engineering Training’, *Proceedings of the 22th International Conference on Software Engineering*, Limerick, Ireland
- [10] Forrester, J.W. (1961) *Industrial Dynamics*, Cambridge, MA: The M.I.T. Press
- [11] Freund, J.E., Perles, B.M. (1998) *Statistics: a First Course*, Seventh Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ
- [12] Highsmith, J. (1992) ‘Software Ascents’, *American Programmer Magazine* (Junho)
- [13] IFPUG, 1999, *Function Point Counting Practices Manual, Release 4.1*, Westerville, OH: International Function Point Users Group
- [14] Klein, G. (1998) *Sources of Power*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts
- [15] Lin, C.Y., Abdel-Hamid, T., Sherif, J.S. (1997) ‘Software-Engineering Process Simulation Model (SEPS)’, *Journal of Systems and Software*, Vol. 37, pp. 263-277
- [16] Shull, F., Carver, J., Travassos, G.H. (2001) ‘An Empirical Methodology for Introducing Software Processes’, IN: *Proceeding of the Joint 8th European Software Engineering Symposium and 9th ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering*, Vienna, Austria
- [17] Standish Group, T. (1994) *The Chaos Report*, The Standish Group Report, disponível na URL http://www.pm2go.com/sample_research/chaos_1994_1.asp
- [18] Tvedt, J.D. (1996) *An Extensible Model for Evaluating the Impact of Process Improvements on Software Development Cycle Time*, D.Sc. Thesis, Arizona State University, Tempe, AZ
- [19] Van Solingen, R., Berghout, E. (1999) *The Goal / Question / Metric Method: A Practical Guide for Quality Improvement of Software Development*, McGraw Hill. ISBN 0077095537
- [20] Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M.C., Regnell, B., Wesslén, A. (2000) *Experimentation in Software Engineering: an Introduction*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA