

Um Modelo de Dinâmica de Sistemas para Análise dos Impactos do Aumento na Volatilidade dos Requisitos

José Luis Braga¹, Bernardo Giori Ambrósio¹, Alcione de Paiva Oliveira¹, e Moisés de Andrade Resende Filho²

¹Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa,
Av. P. H. Rolfs, s/n, Viçosa-MG, Brasil
zeluisbraga@ufv.br, bgambrosio@gmail.com, alcione@dpi.ufv.br

²Departamento de Análise Econômica, Universidade Federal de Juiz de Fora,
Campus Universitário, Martelos, Juiz de Fora-MG, Brasil
moises.resende@ufjf.edu.br

Resumo. Os problemas de decisão na área de gerenciamento de projetos de software são complexos e envolvem muitas variáveis dinâmicas que se relacionam de maneira não linear. Visando a aumentar a compreensão acerca dos aspectos gerenciais envolvidos na fase de requisitos em processos de desenvolvimento de software, esse trabalho apresenta e discute um modelo de dinâmica de sistemas que descreve as interações dinâmicas entre as principais variáveis envolvidas na fase de requisitos. As simulações realizadas com o modelo permitiram antever os impactos do aumento na volatilidade dos requisitos sobre a qualidade e o custo do trabalho realizado durante a fase de requisitos.

Palavras-chave: Engenharia de Software. Processos de software. Requisitos. Avaliação de riscos.

1 Introdução

Com o surgimento da Engenharia de Software, muitas organizações começaram a aplicar a disciplina da engenharia no processo de desenvolvimento de software. No entanto, pouca atenção tem sido dada pela comunidade científica aos aspectos gerenciais do processo de desenvolvimento de software [1]. Os problemas de decisão nessa área são complexos, com muitas variáveis dinâmicas interconectadas. A análise de decisões e de seus impactos sistêmicos exige o uso de ferramentas que permitam enxergar todo o contexto. A dinâmica de sistemas [2] é uma dessas ferramentas, constituindo uma técnica de modelagem que permite a análise e simulação de problemas e situações que envolvam comportamento dinâmico.

Alguns trabalhos, como os descritos na seção 2, foram desenvolvidos com o objetivo de definir modelos de dinâmica de sistemas para descrever aspectos do processo de gerenciamento de projetos de software. Alguns desses trabalhos incluíram a fase de requisitos em seu escopo. Em muitas organizações, o processo de requisitos é deixado em plano secundário e os recursos são concentrados na codificação do

sistema. Segundo [3], 50% das falhas encontradas na fase de testes são causadas por defeitos em requisitos. Assim, é necessário empenho para que os requisitos sejam compreendidos e especificados corretamente desde o início do projeto [1], pois corrigir um erro de requisitos quando o software estiver em testes pode ser até 100 vezes mais caro que descobrir e corrigir o problema na fase de requisitos [3].

Após serem extraídos e especificados, os requisitos podem evoluir devido a novas necessidades dos usuários ou maior entendimento do domínio do problema. As solicitações de alteração podem ocorrer após o software ser entregue, ou durante o seu desenvolvimento, o que pode comprometer o custo e o prazo do projeto. Em [4], a volatilidade dos requisitos é classificada como um dos cinco tipos de risco que mais contribuem para o aumento do prazo e do custo planejados em projetos de software.

Esse trabalho apresenta e discute um modelo de dinâmica de sistemas que abrange as principais variáveis envolvidas na fase de requisitos em processos de desenvolvimento de software, e mostra como essas variáveis se relacionam umas com as outras. São apresentados também os resultados de simulações realizadas com o modelo, que permitiram antever os impactos do aumento na volatilidade dos requisitos sobre a qualidade e o custo do trabalho realizado durante a fase de requisitos.

Na seção 2 são apresentados conceitos sobre dinâmica de sistemas e uma descrição sobre trabalhos correlatos. A seção 3 descreve o modelo de dinâmica de sistemas construído. A seção 4 apresenta os resultados de simulações realizadas com o modelo. Finalmente, a seção 5 apresenta as conclusões obtidas.

2 Dinâmica de Sistemas

A dinâmica de sistemas [2] é um método descritivo de modelagem que permite analisar o comportamento de sistemas complexos, formados por diversas variáveis que se relacionam de forma não linear. Nesses sistemas, as interações entre as variáveis formam laços de realimentação e determinam o comportamento do sistema.

Um modelo de dinâmica de sistemas possui dois elementos principais: os estoques, que são os recursos acumuláveis do sistema, e os fluxos, que são responsáveis pela variação dos estoques. Há também os conversores ou variáveis simples, que são os elementos do modelo que exercem influência sobre os valores dos fluxos. Um exemplo de um modelo de dinâmica de sistemas pode ser visualizado na Figura 1, onde aparecem seus principais elementos de modelagem.

A fase inicial da modelagem com dinâmica de sistemas normalmente é desenvolvida utilizando diagramas de influência [5], pois eles permitem entender melhor os relacionamentos entre as variáveis do problema e a identificação de laços de realimentação no modelo. Um diagrama de influência pode ser visualizado na Figura 4. As ligações rotuladas com “+” indicam que as variáveis em suas duas pontas variam na mesma direção (quando uma aumenta/diminui a outra aumenta/diminui) e as rotuladas com “-” indicam variação em direções opostas.

Entre os vários trabalhos que relatam a aplicação da dinâmica de sistema na modelagem do processo de gerenciamento de projetos de software, o descrito em [6] é

um dos mais referenciados. Outros trabalhos realizados são descritos em: [7], [8], [9] e [10]. Os trabalhos que incluíram a fase de requisitos em seu escopo são: [11] e [12].

3 Um Modelo Dinâmico para uma Fase de Requisitos

O modelo de dinâmica de sistemas apresentado nesse trabalho abrange as principais variáveis envolvidas na fase de requisitos e alguns dos relacionamentos existentes entre elas. Esses relacionamentos foram definidos, quantificados e fundamentados a partir de informações disponibilizadas em livros e artigos científicos citados ao longo do texto. Para construir o modelo e realizar as simulações, foi utilizada uma versão gratuita, para uso acadêmico, da ferramenta Vensim [13]. As subseções seguintes apresentam as porções do modelo que explicam os impactos das alterações de requisitos sobre a qualidade e o custo do trabalho.

3.1 Impactos das Alterações de Requisitos sobre a Qualidade

O modelo apresentado na Figura 1, que é parte de um modelo mais complexo, descreve variáveis, estoques e fluxos que permitem entender, via simulação, como o aumento na volatilidade dos requisitos acarreta um aumento na quantidade de esforço necessário para terminar a especificação dos requisitos. O fluxo *Taxa de Solicitação de Alteração* representa a taxa com que as alterações de requisitos são solicitadas e transfere requisitos acumulados no estoque *Requisitos Especificados* para o estoque *Requisitos Aguardando Alteração*. Como o esforço necessário para o término de um projeto depende da quantidade de trabalho que ainda deve ser realizado [14], o aumento no valor do estoque *Requisitos Aguardando Alteração* acarreta um aumento no valor da variável *quantidade de homens-dia necessários para terminar a especificação*, que representa a quantidade de esforço, medido em homens-dia, necessário para terminar a especificação.



Fig. 1. Modelo relacionando volatilidade de requisitos com quantidade de esforço.

As decisões gerenciais, descritas adiante, irão determinar a quantidade total de esforço alocado para o trabalho (variável *total de homens-dia disponíveis diariamente*) e, em seguida, a quantidade de esforço alocado para realizar as alterações de requisitos (variável *homens-dia alocados para alteração de requisitos*). Esse esforço determina o valor do fluxo *Taxa de Alteração de Requisitos*.

Para tratar o aumento na quantidade de esforço necessário, evitando-se alterar o prazo planejado, pode ser preciso (a) aumentar o tamanho da equipe e/ou (b) utilizar esforço extra dos profissionais da equipe, incentivando-os a trabalhar com mais empenho e aumentando a jornada de trabalho se necessário [6] e [9]. Ambas as alternativas contribuem para aumentar a quantidade de erros nos requisitos, o que também pode ocorrer durante a realização das alterações dos requisitos. Segue-se a análise das duas alternativas.

Aumento no Tamanho da Equipe. Os membros que compõem a equipe são classificados em dois grupos: novatos e experientes [8]. Novato, neste trabalho, refere-se ao profissional alocado em um novo projeto no qual não tem experiência. Na porção do modelo apresentada na Figura 2, os membros da equipe são representados pelos estoques *Força de Trabalho Novatos* e *Força de Trabalho Experientes*. O fluxo *Taxa de Aprendizado* representa a curva de aprendizagem [15] verificada no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

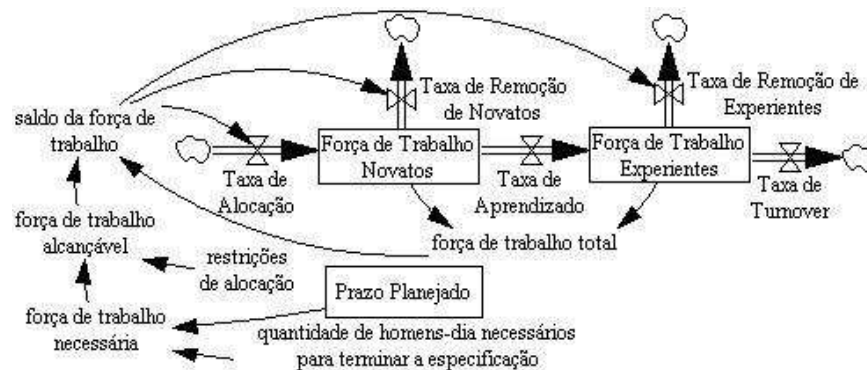


Fig. 2. Modelo utilizado para analisar os impactos do aumento do tamanho da equipe.

Os valores da variável *quantidade de homens-dia necessários para terminar a especificação* e do estoque *Prazo Planejado* determinam o valor da variável *força de trabalho necessária* [6]. Essa variável representa a quantidade de pessoas que devem compor a equipe para que a especificação termine no prazo planejado.

Devido a restrições tais como o limite na quantidade de membros novatos na equipe [6] e o tempo necessário para a alocação de novos profissionais [7], a quantidade de pessoas que pode compor a equipe em algum instante é representada pela variável *força de trabalho alcançável*. A diferença entre os valores das variáveis

força de trabalho total e *força de trabalho alcançável* define o valor da variável *saldo da força de trabalho*. O valor dessa variável pode ser: - negativo: significa que é necessário alocar mais pessoas na equipe, ativando o fluxo *Taxa de Alocação*; - positivo: significa que é necessário remover pessoas da equipe, ativando os fluxos *Taxa de Remoção de Novatos* e *Taxa de Remoção de Experientes*; - zero: significa que a equipe está com tamanho adequado com relação às restrições atuais.

O aumento no valor da variável *quantidade de homens-dia necessários para terminar a especificação* desencadeia um aumento no valor da variável *força de trabalho alcançável*. Isso provoca uma diminuição no valor da variável *saldo da força de trabalho*, o que acarreta um aumento no valor do fluxo *Taxa de Alocação*. Esse fluxo aumenta a quantidade de membros novatos na equipe, o que aumenta também o valor da variável *força de trabalho total*, formando um *loop* de balanço. O modelo considera que o aumento no tamanho da equipe provoca o aumento do tempo gasto com comunicação, o que diminui a produtividade individual dos membros equipe.

Para aumentar o tamanho da equipe são alocados membros novatos, o que aumenta a porcentagem de membros novatos na equipe. Isso contribui para aumentar a quantidade de erros cometidos [7] e [8], o que é representado no modelo da Figura 3.



Fig. 3. Modelo utilizado para analisar o aumento na quantidade de erros cometidos.

O modelo utiliza o estoque *Requisitos com Erros* para medir a qualidade da especificação de requisitos. Esse estoque representa todos os requisitos especificados que apresentam erros ainda não detectados. O fluxo *Taxa de Erros* representa a taxa com que os erros são cometidos durante a especificação de novos requisitos. E o fluxo *Taxa de Erros Durante a Correção e Alteração* representa a taxa com que os erros são cometidos durante a correção e/ou alteração de requisitos.

Aumento no Uso do Esforço Extra. O diagrama de influência na Figura 4 mostra que a diferença entre os valores das variáveis *força de trabalho necessária* e *força de trabalho total* determina o valor da variável *falta de homens-dia percebida*. O valor dessa variável corresponde à quantidade de esforço que irá faltar para a realização das atividades, impedindo que a especificação termine no prazo planejado.

Quando há risco de o projeto atrasar, as pressões de prazo aumentam e os membros da equipe são incentivados a trabalhar com mais empenho [8] e [9], disponibilizando esforço extra. Isso é representado pela influência da variável *pressões de prazo* sobre a variável *homens-dia extras disponibilizados pela equipe*. O aumento no uso do esforço extra acarreta um aumento na quantidade de esforço alocado para realizar as

alterações de requisitos e as demais atividades. Isso desencadeia uma redução nas pressões de prazo sobre a equipe, formando um *loop* de balanço.



Fig. 4. Modelo utilizado para entender os impactos do aumento no uso do esforço extra.

As relações entre as variáveis nos modelos podem formar dois tipos de *loops*: *loop* de reforço e *loop* de balanço. O *loop* de reforço corresponde a uma realimentação positiva, em que o valor de uma ou mais variáveis aumenta ou diminui indefinidamente. Mas na prática, existe um limite para o crescimento ou decrescimento do valor da(s) variável(is). O *loop* de balanço é responsável por equilibrar os efeitos do *loop* de reforço, permitindo obter uma situação de equilíbrio no sistema. Tomando a Figura 4 como exemplo, o aumento na quantidade de esforço extra disponibilizado pela equipe, devido ao aumento nas pressões de prazo, provoca, após algum tempo, uma diminuição nas pressões de prazo, equilibrando o sistema.

A sobrecarga de trabalho contribui para aumentar a quantidade de erros cometidos [8] e [10]. No modelo da Figura 3, o aumento no valor da variável *homens-dia extras disponibilizados pela equipe* provoca um aumento no valor da variável *probabilidade de cometer erros*. As pressões de prazo também provocam uma redução no esforço alocado para as atividades de garantia de qualidade [6] que visam a detectar os erros cometidos, contribuindo para um maior acúmulo no estoque *Requisitos com Erros*.

3.2 Impactos das Alterações de Requisitos sobre o Custo

Para medir o custo para a realização da especificação de requisitos, o modelo utiliza o estoque *Homens-dia Gastos*, que armazena a quantidade de esforço, medido em homens-dia, utilizado até o momento. Para tratar o aumento na quantidade de esforço necessário, devido ao aumento na volatilidade dos requisitos, pode ser preciso: alocar novos profissionais na equipe, utilizar esforço extra, e/ou adiar o prazo planejado. Todas as alternativas contribuem para o aumento do custo.

4 Simulações Utilizando o Modelo

As simulações realizadas com o modelo podem ser utilizadas para avaliar os impactos da materialização de riscos e os efeitos das decisões gerenciais planejadas, antes de elas serem implementadas. A seguir são apresentados os resultados de algumas simulações do modelo que permitem verificar os impactos no projeto, do aumento na volatilidade dos requisitos durante a fase de requisitos.

Antes de executar uma simulação, é necessário definir os valores de algumas variáveis do modelo para ajustá-lo de acordo com o cenário que será simulado. Para configurar o modelo e realizar as simulações apresentadas, foram coletados dados em uma empresa que desenvolve sistemas de software para uso no domínio científico e tecnológico. A Tabela 1 apresenta os valores baixo, médio (mais provável) e alto obtidos para algumas variáveis do modelo.

Tabela 1. Valores coletados em uma empresa de desenvolvimento de software.

Variável	Baixo	Médio	Alto
1- Quantidade de requisitos especificados e entregues em uma liberação	Não foi possível estimar		
2- Tamanho inicial da equipe responsável pela especificação	2	2	3
3- Produtividade média dos integrantes da equipe	Não foi possível estimar		
4- Probabilidade de cometer erros durante a especificação dos requisitos	5%	15%	20%
5- Probabilidade de alteração de requisitos	10%	20%	30%
6- Porcentagem dos requisitos de uma liberação que não são previstos antes de iniciar a especificação	15%	20%	25%
7- Porcentagem do esforço disponibilizado pela equipe que é alocado para as atividades de garantia de qualidade, como revisões e inspeções	5%	10%	15%
8- Aumento no esforço disponibilizado pelos membros da equipe quando há pressões de prazo e risco de atraso	10%	15%	20%

A empresa consultada não mantém uma base de dados acerca dos projetos realizados. Os valores, que são baseados em um projeto de tamanho médio, foram estimados por um Diretor e por um Gerente de Projetos a partir da sua experiência obtida na participação em projetos. De acordo com a escala de tamanho de projetos de software, apresentada em [14], um projeto de tamanho médio possui entre 1000 e 10000 linhas de código. Na empresa consultada, o tempo necessário para o desenvolvimento de um projeto de tamanho médio varia, em geral, de 12 a 18 meses.

Diante da impossibilidade de estimar os valores das variáveis 1 e 3, as mesmas tiveram seus valores definidos a partir de trocas de informações não documentadas com profissionais de empresas de desenvolvimento de software. Para realizar as simulações, a variável *quantidade de requisitos especificados e entregues em uma*

liberação recebeu o valor 120, o que significa 120 requisitos estimados em 120 pontos de função; e a variável *produtividade média dos integrantes da equipe* recebeu o valor 2 pontos de função / homem-dia.

Os gráficos apresentados na Figura 5 mostram as variações na qualidade e no custo do trabalho realizado em função do prazo planejado. Os valores nos gráficos permitem comparar dois cenários: um cenário base em que o modelo é configurado com os valores médios informados na Tabela 1, e outro cenário que difere do cenário base apenas quanto à variável *probabilidade de alteração de requisitos* que recebe o valor 30%.

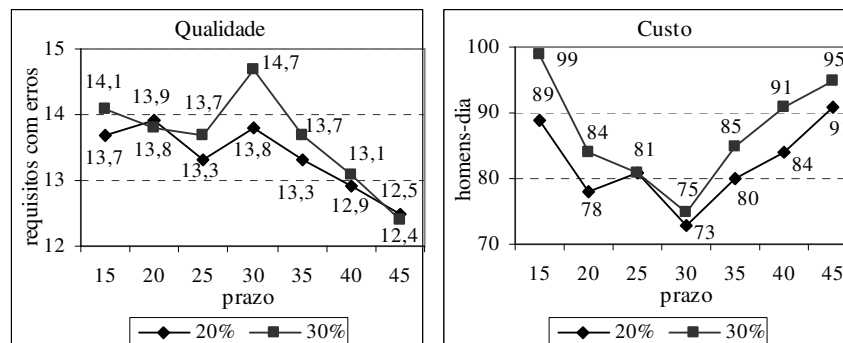


Fig. 5. Resultados das simulações.

O gráfico que descreve as variações na qualidade mostra que o aumento na volatilidade dos requisitos e a redução no prazo planejado tendem a aumentar a quantidade de erros de especificação. Para terminar a especificação em um tempo menor, pode ser necessário aumentar o tamanho da equipe e/ou utilizar esforço extra dos profissionais [8] e [9], o que contribui para aumentar a quantidade de erros cometidos [8] e [10].

Para o cenário base, o gráfico de variação de custo mostra que um prazo de 30 dias estabelece o menor custo. Ao incentivar o término da especificação em um prazo menor, pode ser necessário aumentar o tamanho da equipe e/ou utilizar horas-extras dos profissionais [8] e [9], o que implica no aumento do custo. Mas, quando o prazo é superestimado, tornando-se maior que o necessário, a equipe irá trabalhar com menor produtividade, absorvendo uma parte do excesso de tempo disponível em outras atividades [6]. Isso explica o aumento que ocorre no custo quando o prazo planejado é maior que 30 dias.

O custo mínimo ocorre próximo ao prazo de 30 dias devido aos valores atribuídos às variáveis 1, 2 e 3 na Tabela 1. Uma equipe com 2 pessoas, onde cada uma especifica 2 requisitos por dia, precisará de 30 dias para especificar 120 requisitos. Em uma situação real, é necessário disponibilizar esforço para correções e alterações de requisitos e atividades de garantia de qualidade, o que aumenta o custo. No

entanto, o maior empenho da equipe durante o horário normal de trabalho pode amenizar os impactos sobre o custo, mantendo o prazo ideal próximo a 30 dias.

O gráfico de custo mostra também que o aumento na volatilidade dos requisitos provoca o aumento do custo. Mas, quando o prazo aumenta demasiadamente, a tendência é que a diferença entre os custos nos dois cenários diminua. Isso ocorre porque quando o prazo aumenta no cenário em que a probabilidade de alteração de requisitos é 30%, grande parte do esforço adicional utilizado para realizar as alterações é obtida a partir do tempo em que a equipe ficaria ociosa para absorver uma parte do excesso de tempo disponível.

5 Conclusões

As discussões e simulações apresentadas mostram como o modelo pode ser utilizado para analisar os impactos do aumento na volatilidade dos requisitos. O modelo também permite realizar outras análises gerenciais que consistem em verificar: - os impactos da materialização de riscos como uma alta taxa de rotatividade de pessoal (*turnover*) e o aumento na quantidade de erros cometidos; - os efeitos do prazo planejado e da alocação de uma determinada quantidade de pessoas na equipe; - os efeitos da alocação de uma determinada porcentagem dos recursos para as atividades de garantia de qualidade; - os efeitos de uma maior ou menor tendência em alterar o prazo planejado, modificar o tamanho da equipe e utilizar esforço extra da equipe.

Em simulações realizadas com vários outros cenários, o padrão de variação e o valor de algumas variáveis tais como esforço utilizado, erros cometidos, prazo e tamanho da equipe, mostraram-se de acordo com o conhecimento disponível na literatura da área de Engenharia de Software. O comportamento do modelo nas simulações que utilizaram dados coletados em uma empresa de desenvolvimento de software foi semelhante ao comportamento obtido nas simulações que utilizaram dados disponibilizados na literatura (não apresentadas aqui por questões de espaço).

O mais importante a ser analisado nos gráficos não são os valores numéricos apresentados, mas sim a direção das mudanças nos valores ao comparar os gráficos dos cenários simulados. É importante que o modelo forneça uma compreensão do comportamento do sistema e não uma informação numérica precisa.

O comportamento do modelo e as análises apresentadas podem ser generalizados obedecendo-se a determinados limites e restrições. Esses limites e restrições não foram investigados nessa pesquisa. No entanto, é esperado que a generalização possa ser feita para projetos que estejam inseridos em um contexto (formado pelas características da organização, da equipe e do projeto) semelhante ao contexto dos projetos que serviram como base para que outros grupos de pesquisa, referenciados ao longo do texto, disponibilizassem as informações utilizadas para definir os relacionamentos existentes no modelo.

É necessário verificar a validade e a generalidade do modelo, analisando-se os resultados de simulações realizadas com dados reais de várias empresas de desenvolvimento de software. Assim, será possível determinar mais precisamente o contexto de aplicação do modelo. Como expansão desse trabalho, o modelo apresentado pode ser utilizado como base para a implementação de um simulador

gerencial para treinar gerentes no processo de tomada de decisão. O simulador apresentaria as informações sobre o projeto sendo simulado e solicitaria que o gerente informasse as decisões que devem ser empregadas: alterações no tamanho da equipe, modificações no prazo, quantidade de esforço extra que deve ser usado, entre outras.

Agradecimentos. Projeto parcialmente financiado pela Fapemig e pelo CNPq.

Referências Bibliográficas

1. Kappelman, L. A., Mckeeman, R., Zhang, L.: Early Warning Signs of it Project Failure: The Dominant Dozen. *Information Systems Management*. 23, 4, 31--36 (2006)
2. Sterman, J. D.: *Business dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin McGraw-Hill, Boston (2000)
3. Blackburn, M. R., Busser, R., Nauman, A.: Removing Requirement Defects and Automating Test. In: *Star-East 2001 Conference*, Orlando (2001)
4. DeMarco, T., Lister, T.: *Waltzing with Bears: Managing Risk on Software Projects*. Dorset House Publishing Co Inc, New York (2003)
5. Senge, P.: *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. Doubleday, New York (1990)
6. Abdel-Hamid, T. K., Madnick, S. E.: *Software Project Dynamics: an Integrated Approach*. Prentice Hall, Englewood Cliffs (1991)
7. Sengupta, K., Abdel-Hamid, T. K., Bosley, M.: Coping with Staffing Delays in Software Project Management: an Experimental Investigation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*. 29, 77--91 (1999)
8. Lin, C. Y., Abdel-Hamid, T., Sherif, J. S.: Software-Engineering Process Simulation Model (SEPS). *Journal of Systems and Software*. 38, 263--277 (1997)
9. Abdel-Hamid, T. K.: The Slippery Path to Productivity Improvement. *IEEE Software*. 13, 43--52 (1996)
10. Collofello, J., Rus, I., Chauhan, A., Houston, D., Sycamore, D. M., Smith-Daniels, D.: A System Dynamics Software Process Simulator for Staffing Policies Decision Support. In: *31th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 103--111. IEEE Press, Washington, DC (1998)
11. Pfahl, D., Lebsanft, K.: Using Simulation to Analyse the Impact of Software Requirement Volatility on Project Performance. *Information and Software Technology*. 42, 1001--1008 (2000)
12. Pfahl, D., Al-Emran, A., Ruhe, G.: A System Dynamics Simulation Model for Analyzing the Stability of Software Release Plans. *Software Process: Improvement and Practice*. 12, 475--490 (2007)
13. Vensim from Ventana Systems, Inc., <http://www.vensim.com>
14. Filho, W. P. P.: *Engenharia de Software: Fundamentos, Métodos e Padrões*. Segunda Edição. LTC, Rio de Janeiro (2003)
15. Raccoon, L. B. S.: A Learning Curve Primer for Software Engineers. *ACM Sigsoft Software Engineering Notes*. 21, 77--86 (1996)