

Análise de Impacto no Erro de Estimativa de Esforço e de Duração em Projetos de Software

Autoria: Juan Francisco Fonseca O’Keeffe, Leonardo Rocha de Oliveira

Resumo

Pesquisas indicam que a maior parte dos projetos de software excede a quantidade de esforço e/ou duração estimada. Este trabalho tem por objetivo identificar os fatores que mais contribuem para explicar o erro de estimativa (i) de esforço e (ii) de duração em projetos de software. A pesquisa adota um método quantitativo de hipótese explanatória sendo cada hipótese avaliada por uma dimensão respectiva. As conclusões do trabalho confirmam três hipóteses do estudo apontando as dimensões (i) trabalho em equipe, (ii) controle de execução e (iii) gerência de recursos como as principais responsáveis por explicar os erros de estimativa.

1. Introdução

O mercado brasileiro de software e serviços relacionados vem crescendo ano a ano, tendo quase que triplicado entre 2004 e 2008, passando de US\$ 5,98 bilhões em 2004 para US\$ 15 bilhões em 2008 (ABES, 2009). Este resultado representou 0,96% do PIB brasileiro em 2008, sendo que o setor continua crescendo acima da média dos demais setores da economia no país (ABES, 2009). Acompanhando este crescimento existem indicações de projetos fracassados e uma significativa quantidade de investimentos perdidos (STANDISH GROUP, 2009). Por exemplo, o sistema irlandês de pagamentos (PPARS) foi cancelado depois de ultrapassar em €140 milhões o valor inicialmente estimado para o projeto, que foi de €8.8 milhões (MCCONELL, 2006). Outra evidência foi o projeto de desenvolvimento do software VCF (*Virtual Case File*) do FBI, o qual foi arquivado em Março de 2005 após custar US\$ 170 milhões e entregar apenas um décimo da sua capacidade estimada (MCCONELL, 2006).

Pesquisa indica que a maior parte dos projetos de software (60 a 80%) ultrapassa a quantidade de esforço e/ou duração estimada (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2003). Outra pesquisa apresentou resultados semelhantes, constatando que a taxa de projetos de TI concluídos com sucesso é de apenas 32%, sendo que 44% dos projetos atrasam, ultrapassam o orçamento e/ou são entregues com menos funcionalidades do que deveriam (STANDISH GROUP, 2009). Da totalidade de projetos de software, 24% são cancelados antes de concluídos ou são entregues e nunca usados (STANDISH GROUP, 2009). Índices de falha desta magnitude são altos quando comparados com projetos de outra natureza. Por exemplo, projetos do setor farmacêutico e de biotecnologia, apresentam taxas de 1,7% de projetos cancelados e 2,5% de projetos atrasados (IIR, 2002). Este contexto de alto índice de projetos de software que ultrapassam os prazos e custos estimados e o consequente desperdício de investimentos que isto representa para as empresas e para a economia como um todo, representa uma oportunidade para que atitudes corretivas sejam adotadas de forma a garantir que os projetos sejam concluídos dentro das estimativas iniciais de esforço e duração. Organizações prestadoras de serviços de desenvolvimento de software e seus clientes seriam beneficiados, sendo que estes resultados poderiam se refletir de forma positiva na economia brasileira.

Este trabalho tem como objetivo identificar os fatores que mais contribuem para explicar o erro de estimativas de esforço e de duração em projetos de software. A revisão de literatura auxiliou na identificação de uma série de fatores de impacto no erro de estimativas. Detalhes sobre a revisão de literatura e a validação dos fatores por parte de especialistas são apresentados nos itens a seguir deste trabalho.

2. Estimativa de Esforço e de Duração em Projetos de Software

A redução de erros de estimativas em projetos de software representa um desafio que vem sendo enfrentando por profissionais e empresas envolvidas com o desenvolvimento de software. Esforço em projetos representa a quantidade de unidades de mão-de-obra necessárias para terminar uma atividade do cronograma ou um componente da estrutura analítica do projeto (PMI, 2008). Duração de projetos é o número total de períodos de trabalho necessários para terminar uma atividade do cronograma ou um componente da estrutura analítica do projeto (PMI, 2008). Em projetos de software, o esforço é geralmente expresso em meses ou horas, e obtido pela multiplicação do número de profissionais alocados no projeto pelo tempo de alocação no projeto (JONES, 2007; PMI, 2008).

Resultados de pesquisas indicam que o esforço efetivamente investido em projetos de software ultrapassa as estimativas iniciais em 30% a 40% em média (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2003). A solução mais comum para projetos de software em que a

necessidade real de esforço ultrapassa o valor estimado é de adicionar recursos humanos (esforço) com a contratação de profissionais, buscando manter a data prevista de entrega inalterada. Esta atitude reflete no aumento do custo total do projeto, pois o esforço para entregar o escopo é a principal fonte de custos em projetos de software (JØRGENSEN, SHEPPERD, 2007).

A previsibilidade e confiabilidade nas datas de entrega são importantes para as partes interessadas no projeto. Atrasos podem comprometer os demais planos de negócios das organizações envolvidas com o projeto. Por exemplo, quando o projeto é concebido para desenvolver um software a ser comercializado, atrasos no lançamento do produto podem significar a perda de oportunidades de mercado e de clientes para concorrentes. É com base na estimativa de duração que é definida a data de entrega do projeto. Análises indicam que a duração efetiva de projetos de software ultrapassam em média 22% o tempo estimado (MORGENSEN, RAZ, DVIR, 2006).

Existem diversas técnicas de estimativa empregadas em projetos de software, as quais estão divididas em duas categorias: (i) baseadas em modelos paramétricos e (ii) opinião especializada (JØRGENSEN, 2002). Pesquisas sobre práticas de estimativa sugerem que a opinião especializada é a estratégia dominante (60 a 85% dos casos) para prever o esforço em desenvolvimento de software (MCCONELL, 2006). No que tange ao resultado dos modelos paramétricos de estimativa em comparação com a opinião especializada, não existem evidências substanciais de que o primeiro resulte em estimativas mais acuradas (JØRGENSEN, 2002). Entre os modelos paramétricos encontram-se COCOMO II, Checkpoint, PRICE-S, SEER-SEM, SLIM, Bayesiana, modelos baseados em analogia com projetos anteriores e modelos de regressão (JØRGENSEN, 2002; BOEHM, SULLIVAN, 1999; MCCONELL, 2006). Entre as técnicas de opinião especializada encontram-se: Decomposição e Recomposição (WBS Top-Down e Bottom-Up), PERT, Delphi, Wideband Delphi, Checklists, Revisões em grupo, Planning Poker (JØRGENSEN, 2002; MCCONELL 2006; PMI, 2008; COHN, 2006). A revisão de literatura embasou a identificação dos fatores de impacto no erro de estimativas de esforço e de duração e a elaboração da estrutura e forma de análise presentes neste trabalho.

3. Fatores de Impacto no Erro de Estimativas de Projetos de Software

A análise do erro de Estimativa de Esforço (EE) e de Duração (ED) elaborada neste trabalho foi realizada com base em Dimensões (D) compostas por Fatores de Análise (F), sendo que cada fator é representado por uma questão no instrumento de pesquisa. No total foram identificados 31 Fs e classificados em 7 Ds. Para cada D foi criada uma Hipótese de pesquisa (H), as quais foram testadas de forma quantitativa e explanatória. As Ds, Fs e Hs foram definidas com base na revisão de literatura e validadas com especialistas que atuam na gestão de projetos de software e estão listadas a seguir.

D1 - Incerteza do Projeto: estimativas são previsões e, portanto, não são certezas. Esta dimensão trata do impacto da incerteza do projeto no erro da estimativa de esforço e de duração. A revisão de literatura mostra que a forma de abordagem a esta dimensão varia dependendo do modelo de desenvolvimento de software adotado, seja ele Preditivo ou Adaptativo (Metodologia Ágil) (COHN, 2006; FOWLER, 2005). Os modelos Preditivos são fortemente voltados para o planejamento prévio como forma de reduzir a incerteza do projeto, enquanto os modelos Adaptativos são orientados a resposta a mudanças em oposição ao seguimento de planos (BECK et al., 2001; COHN, 2006; FOWLER, 2005). Esta Dimensão é analisada conforme os fatores a seguir.

- (F1) Clareza dos objetivos - a probabilidade de acerto da estimativa deve ser maior em casos em que os objetivos do projeto são claramente entendidos pelas partes envolvidas com a responsabilidade de estimar o projeto (BERKUN, 2005; BOHEM, 1981).
- (F2) Detalhamento antecipado do planejamento - um dos principais fatores que contribui para maior acurácia da estimativa é o planejamento em nível detalhado (MORGENSHTERN, RAZ, DVIR, 2006). A falha em incluir todas as atividades necessárias para execução do projeto, e não apenas codificação e teste estão entre as principais causas de erro de estimativa (JONES, 2007). Para autores da Metodologia Ágil de desenvolvimento de software, favoráveis a um modelo adaptativo de desenvolvimento, o foco está na resposta a mudanças em vez da adoção de planos detalhados no início do projeto (BECK et al., 2001; FOWLER, 2005; COHN, 2006).
- (F3) Detalhamento antecipado dos requisitos - estudos relatam a importância de dispor de especificações de requisitos claras e detalhadas para servir ao processo de estimativa (MCCONELL, 2006; JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2005; BOHEM, 1981). Autores da metodologia Ágil, por sua vez, são favoráveis a um refinamento dos requisitos ao longo da execução do projeto em oposição ao detalhamento no seu início (BECK et al., 2001; FOWLER, 2005; COHN, 2006).
- (F4) Detalhamento antecipado do *design* - a especificação de requisito mostra o que deve ser feito, enquanto que o *design* mostra como deve ser feito. Estudos apontam que a acurácia de estimativa aumenta significativamente após a conclusão e validação do *design* (BOEHM, 1981; MCCONELL, 2006). Com relação a este aspecto, autores da metodologia Ágil são favoráveis ao refinamento do *design* ao longo da execução do projeto (BECK et al., 2001; FOWLER, 2005; COHN, 2006).
- (F5) Mapeamento do caminho crítico - Esta técnica de análise dispõe em sequência as atividades dependentes entre si para determinar a duração mínima total do projeto (PMI, 2008). Um problema frequente nos projetos de software é justamente a falha em identificar o caminho crítico do projeto, de forma que os atrasos em componentes chave resultam em atrasos no cronograma geral do projeto (JONES, 2007). Cabe ressaltar que não foram encontradas referências a adoção da prática de mapeamento do caminho crítico em projetos que adotam a Metodologia Ágil.
- (F6) Estabilidade dos requisitos – instabilidade de requisitos para estabelecer o escopo é um dos principais fatores de impacto na acurácia das estimativas de esforço e duração em projetos de software (MCCONELL, 2006; BOHEM, 1981; JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2005). Estudo conduzido com 112 organizações constatou que a causa mais frequente de atraso nos projetos de software é a mudança de escopo do projeto por parte dos usuários (LEDERER e PRASAD, 1995). Neste aspecto, referências da Metodologia Ágil são favoráveis a um modelo adaptativo de desenvolvimento que enxerga a mudança como sendo positiva para o cliente e bem vinda para a equipe de desenvolvimento (BECK et al., 2001; FOWLER, 2005; COHN, 2006).

Com base na revisão de literatura da D1 foi proposta a seguinte hipótese:

- **H1 - Em projetos de modelo preditivo, a incerteza está diretamente associada a erros de estimativa de esforço e de duração.**

Observa-se que H1 refere-se apenas a projetos de modelo preditivo pois projetos que adotam modelo adaptativo prezam pela redução da incerteza ao longo do projeto em vez de logo no início.

D2 - Processo de Estimativa - Esta dimensão trata do processo utilizado para formação das estimativas e neste trabalho é analisada com base nos fatores a seguir.

- (F7) Mapeamento do ciclo de vida - a falha em considerar todas as fases do ciclo de vida do projeto (em vez de apenas a etapa de desenvolvimento) representa um fator de impacto no erro de estimativa (Especialista 2 - Pré-Teste do Instrumento, 2011).
- (F8) Otimismo do Estimador - o otimismo dos programadores, ou seja, a falsa premissa de que tudo irá correr bem é um pensamento equivocado e um fator que impacta na acurácia das estimativas (BROOKS, 1995). Pesquisa conduzida com 191 respondentes apontou o otimismo dos estimadores como a principal causa para o erro de estimativa de duração (44% dos casos) (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2003).
- (F9) Reserva de planejamento (buffer) - as reservas (buffers) são uma provisão no plano do projeto para mitigar os riscos de custos e/ou cronograma (PMI, 2008). Autores sugerem a inclusão de reservas para lidar com eventos inesperados e/ou mudanças na especificação (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2004; JØRGENSEN, GRUSCHKE, 2009).
- (F10) Cruzamento de estimativas - como boa prática se recomenda o uso de diferentes técnicas de estimativa e então comparar o resultado entre elas buscando convergência (MCCONELL, 2006; BOHEM, 1981). Se a diferença de estimativa entre as diferentes técnicas é muito significativa é importante analisar os motivos para tanto.
- (F11) Uso de softwares de estimativa - o uso de softwares especializados para auxiliar no processo de elaboração das estimativas é uma recomendação presente na literatura, especialmente para projetos de grande porte (MCCONELL, 2006; JONES, 2007).
- (F12) Pressão externa para redução das estimativas - a estimativa pode ser altamente impactada, por exemplo, por uma estratégia de vendas (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2004). Uma das mais severas causas de erro de estimativa é justamente o fato de que executivos seniores e executivos do cliente possuem autoridade arbitrária de rejeitar estimativas válidas (JONES, 2007).

Com base na revisão de literatura da D2 foi proposta a seguinte hipótese:

- **H2 - Uso de boas práticas no processo de estimativa está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.**

D3 - Experiência da Equipe - esta dimensão diz respeito à experiência profissional da equipe de projeto e é analisada com base nos fatores a seguir.

- (F13) Experiência em projetos de software - estudo aponta que a experiência anterior em projetos de software está associada ao erro de estimativa e que equipes formadas por profissionais mais experientes apresentam menores erros nas estimativas (MORGENSHTERN, RAZ, DVIR, 2006).

- (F14) Experiência na tecnologia - a falta de familiaridade com a tecnologia tem influência direta na acurácia da estimativa (MCCONELL, 2006; JØRGENSEN, GRUSCHKE, 2009). Brooks (1995) aponta que a produtividade em projetos de software pode variar em uma proporção de 10:1 dependendo de quem está desenvolvendo a tarefa. Ou seja, um programador pode levar 10 vezes o tempo que outro programador leva para executar a mesma tarefa.
- (F15) Experiência na área de negócios - a falta de familiaridade com a área de negócio do projeto é também um dos fatores que contribui para o erro de estimativa (MCCONELL, 2006).

Com base na revisão de literatura da D3 foi proposta a seguinte hipótese:

- **H3 - Uso de profissionais experientes está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.**

D4 - Trabalho em Equipe - esta dimensão trata do nível de colaboração entre os envolvidos no projeto. Para Morgenshtern, Raz e Dvir (2006) os processos que mais contribuem para minimizar o erro de estimativa são relacionados ao senso de responsabilidade e comprometimento da equipe do projeto. Os fatores que representam esta dimensão estão indicados a seguir.

- (F16) Colaboração da equipe - pobre colaboração e falta de comunicação interna são apontados como fatores que impactam na acurácia da estimativa (JØRGENSEN e MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2005).
- (F17) Colaboração do cliente - pesquisa constatou que a comunicação entre analista e usuário é a quarta principal causa de erro de estimativa (LEDERER, PRASAD, 1995). Para Jørgensen e Grimstad (2008) é difícil fornecer uma estimativa realista quando o cliente espera uma estimativa menor e o estimador está ciente disso.
- (F18) Colaboração de parceiros - problemas com terceiros representam uma importante causa para erros de estimativa (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2005).
- (F19) Colaboração da Organização - a inserção deste item foi proposta pelos autores e a sua importância foi confirmada pelo Especialista 3 no Pré-Teste do Instrumento de Pesquisa. Assim como a colaboração da equipe, cliente e parceiros, a colaboração da organização da qual a equipe de projeto faz parte também é fator de impacto na acurácia das estimativas. Como exemplo, existem situações em que o controle sobre o processo de contratação e a gerência de pessoas fica sob a tutela da organização, não do projeto. Nestas situações, o suporte da organização ao projeto pode ter impacto direto na habilidade do projeto de entregar conforme o estimado.

Com base na revisão de literatura da D4 foi proposta a seguinte hipótese:

- **H4 - Trabalho em equipe está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.**

D5 - Controle de Execução - esta dimensão diz respeito ao controle de execução sobre o desenvolvimento do projeto. McConell (2006) afirma que, uma vez feita a estimativa e assumido o compromisso de entrega de funcionalidade e qualidade em uma determinada data, é necessário controlar o projeto para atingir os compromissos.

- (F20) Acompanhamento do estimado versus realizado - verificar o progresso ao longo do projeto precisa ser feito para que se possam tomar as ações corretivas enquanto ainda há tempo e recursos disponíveis (PUTNAM, MYERS, 2007). A revisão do estimado versus realizado, avaliando motivos de acertos e erros, é uma oportunidade de aprendizado para melhoria da estimativa (JØRGENSEN, 2002; MCCONELL, 2006; LEDERER, PRASAD, 1995).
- (F21) Priorização de requisitos - priorizar requisitos do projeto, desenvolvendo os de maior prioridade antes, contribui para dirimir o erro de estimativa, especialmente em projetos que adotam Metodologia Ágil (Especialista 4 - Pré-Teste do Instrumento, 2011).
- (F22) Adoção de práticas de qualidade - a adoção de práticas de qualidade, como por exemplo, revisão de *design* e revisão de código, contribui para dirimir o erro de estimativa (Especialista 4 – Pré-Teste do Instrumento, 2011).
- (F23) Revisão das entregas pelo cliente - a revisão das entregas pelo cliente durante o desenvolvimento do projeto, como por exemplo, reuniões de demonstração e apresentação de protótipos, contribuem para diminuir o erro de estimativa em projetos, e é uma prática recomendada pela Metodologia Ágil (Especialista 4 – Pré-Teste do Instrumento, 2011).
- (F24) Avaliação de riscos - a falha na avaliação de riscos representa fator de impacto na acurácia da estimativa (KERZNER, 2009).

Com base na revisão de literatura da D5 foi proposta a seguinte hipótese:

- **H5 - Controle do projeto está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.**

D6 – Gerência de Recursos – esta dimensão trata do gerenciamento dos recursos disponibilizados ao projeto. Quanto melhor o gerenciamento de recursos menor o erro de estimativa (JONES, 2007; JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2004).

- (F25) Mapeamento da equipe - estudos com cerca de 600 organizações privadas e governamentais apontaram a falha em incluir todas as classes de profissionais (desenvolvedores, testadores, gerentes de projeto etc.) a serem alocados no projeto como uma das principais causas de erro de estimativa (JONES, 2007).
- (F26) Disponibilidade de recursos - erro comum em projetos de software é estabelecer um contrato de desenvolvimento considerando que certo número de profissionais estará disponível, sendo que muitas vezes isto acaba não acontecendo (JONES, 2007). Problemas de alocação de recursos são apontados como um dos fatores de impacto no erro de estimativa (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2004).

- (F27) Vinculação a análise de desempenho - a desconsideração do erro de estimativa na avaliação de desempenho do profissional é um dos fatores indicados como de maior correlação com o erro de estimativa (LEDERER, PRASAD, 1995).
- (F28) Motivação da equipe - as técnicas de estimativa, processos de desenvolvimento e ferramentas buscam reduzir a complexidade do projeto. Porém, quem realmente resolve os problemas são as pessoas e o projeto depende da sua motivação para obtenção de bons resultados (PUTNAM e MYERS, 2007).
- (F29) Rotatividade da equipe - a rotatividade da equipe de projeto é apontada como um dos fatores de impacto no erro de estimativa (LEDERER, PRASAD, 1995).

Com base na revisão de literatura da D6 foi proposta a seguinte hipótese:

- **H6 - Gerência dos recursos está inversamente associada a erros de estimativa de esforço e de duração.**

D7 – Complexidade e Tamanho – esta dimensão se refere ao tamanho e nível de complexidade do projeto, sendo que quanto maiores e mais complexos, maior a chance de erros de estimativa.

- (F30) Complexidade do software - a complexidade do projeto está diretamente associada ao erro de estimativa (MORGENSHTERN, RAZ, DVIR, 2006; MCCONELL, 2006). A complexidade do software diz respeito a regras de negócio, níveis de processamento, integração com outros sistemas, banco de dados, índices de disponibilidade e níveis de segurança (MORGENSHTERN, RAZ, DVIR, 2006).
- (F31) Tamanho do projeto - quanto maior o tamanho do projeto, maior a probabilidade de erro de estimativa (MCCONELL, 2006; PUTNAM, MYERS, 2007). Pesquisa indica que projetos de grande porte (mais de 200 homens-mês de esforço) apresentam erro na estimativa de esforço de mais de 10% em 55% dos casos, enquanto que todos os projetos da amostra, ou seja, incluindo os de menor porte, apresentaram erro acima de 10% em apenas 28% dos casos (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2003). O F31 não consta na lista de itens da escala Likert no instrumento de pesquisa, pois é medido pelo esforço capturado nas questões da seção de dados do projeto. Os projetos são classificados em 5 níveis de tamanho, de forma a serem adaptados a escala de cinco pontos padrão do instrumento.

Por fim, com base na revisão de literatura da D7 foi proposta a seguinte hipótese:

- **H7 - Tamanho e complexidade do projeto estão diretamente associados a erros de estimativa de esforço e de duração.**

A Tabela 1 apresenta as D e F do modelo teórico utilizado para analisar as hipóteses de pesquisa.

Tabela 1

Dimensões e fatores por hipótese de pesquisa

Hipóteses	Dimensão de Análise	Fatores de Análise
H1	D1 – Incerteza do Projeto	F1, F2, F3, F4, F5, F6
H2	D2 - Processo de Estimativa	F7, F8, F9, F10, F11, F12
H3	D3 - Experiência da Equipe	F13, F14, F15
H4	D4 - Trabalho em Equipe	F16, F17, F18, F19
H5	D5 - Controle de Execução	F20, F21, F22, F23, F24
H6	D6 – Gerência de Recursos	F25, F26, F27, F28, F29
H7	D7 – Complexidade e Tamanho	F30, F31

4. Método

Este é um estudo explanatório e quantitativo. O estudo explanatório vai além da descrição e tenta explicar as razões para o fenômeno que o estudo descritivo apenas observa (COOPER, SCHINDLER, 2003). No estudo explanatório os pesquisadores usam teorias e hipóteses para encontrar o que levou certo fenômeno a ocorrer (COOPER, SCHINDLER, 2003). Com a hipótese explanatória, há uma implicação de que a existência de uma variável, ou a mudança nessa variável, causa ou gera mudança em outra variável (COOPER, SCHINDLER, 2003). A variável causal é chamada de variável independente (VI) e a outra, de variável dependente (VD), sendo que a VI não precisa ser a única razão para a existência da VD ou para uma mudança na VD (COOPER, SCHINDLER, 2003). No presente estudo, o teste de hipótese busca explicar a influência de determinados fatores de projeto (F), que são as variáveis independentes, no erro de estimativa de esforço (EE) e de duração (ED), que são as variáveis dependentes.

Para definição da estrutura do instrumento foi utilizada a proposta apresentada por Cooper e Schindler (2003) que indica a presença de três tipos de questões de mensuração: (i) Gerenciais, (ii) de Classificação e (iii) de Direcionamento. As questões (i) Gerenciais compõem a primeira parte do instrumento de pesquisa, identificando dados sobre o perfil do respondente e da organização. As questões (ii) de Classificação são variáveis que permitem que as respostas sejam agrupadas de forma que padrões possam ser estudados (COOPER, SCHINDLER, 2003). No presente instrumento de pesquisa, são representadas pelas questões que identificam o modelo de desenvolvimento utilizado, os erros de estimativa (EE e ED) e as técnicas de estimativa utilizadas. Por fim, as questões (iii) de Direcionamento envolvem as questões investigativas do estudo (COOPER, SCHINDLER, 2003). Neste estudo busca obter dados sobre fatores de análise (F) apresentando questões com opções de resposta em escala Likert de 5 pontos com opções que variam de Discordo Totalmente até Concordo Totalmente mais questões abertas para o respondente discorrer livremente sobre os principais motivos de erro de estimativa de esforço e de duração. As questões abertas auxiliam na análise ao permitir descobrir outros fatores associados ao erro de estimativa que não estavam previamente capturados nos fatores de análise (F).

O instrumento de pesquisa passou por uma etapa de pré-teste que teve por objetivo coletar a opinião de especialistas quanto à versão inicial do instrumento, de forma a identificar melhorias necessárias para obtenção da versão final. O pré-teste foi aplicado a quatro profissionais, todos com mais de dez anos de experiência na gestão de projetos de software. Os quatro especialistas são funcionários do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Software da Hewlett-Packard localizado em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Ao fim do pré-teste foram incorporadas as sugestões dos especialistas e gerada a versão final do instrumento. Um quinto especialista também foi consultado para validar especificamente as hipóteses propostas pelo estudo.

Para cálculo do erro de estimativa é utilizado o BRE (Balanced Relative Error) que é a forma mais indicada para cálculo quando há interesse na magnitude do erro, mas não no seu sentido (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2005). O método é utilizado para calcular o Erro de Estimativa de Esforço, ou simplesmente Erro de Esforço (EE), bem como para calcular o Erro de Estimativa de Duração, ou simplesmente Erro de Duração (ED) conforme a seguir:

$$\begin{aligned} EE &= |x-y| / \text{menor } (x \text{ ou } y) && \text{Sendo } x \text{ o esforço realizado e } y \text{ o estimado} \\ ED &= |x-y| / \text{menor } (x \text{ ou } y) && \text{Sendo } x \text{ a duração realizada e } y \text{ a estimada} \end{aligned}$$

A seleção da amostra foi por conveniência. O estudo foi conduzido na empresa Hewlett-Packard, a maior empresa do setor de TI do ranking Fortune 500 e 11ª no ranking geral (CNN MONEY, 2011). Uma parte significativa dos projetos participantes desta pesquisa foi executada no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da empresa localizado no Tecnopuc, PUC-RS, Porto Alegre, Brasil. O HP Brazil R&D (*Research & Development*) atua desenvolvendo produtos de software que, geralmente fazem parte de um programa mais amplo, coordenado por diferentes divisões de negócio da empresa. Os programas têm por fim desenvolver produtos de software que são comercializados pela empresa em diversos mercados globalmente. Os produtos, em geral, possuem diversas características inovadoras e seguem padrões rígidos de qualidade condizentes com o posicionamento da empresa no mercado. O questionário foi disponibilizado para respostas durante um período de quatro meses decorridos entre a segunda quinzena de maio de 2011 e a primeira quinzena de setembro de 2011. No total foi possível coletar 38 questionários respondidos para projetos de software executados em unidades de P&D da empresa.

Ao analisar as respostas, 3 questionários não puderam ser aproveitados pelo fato de não conterem as informações sobre o estimado vs realizado que era a questão central do instrumento. Um quarto questionário também precisou ser excluído em função de ter sido respondido para um projeto de documentação, não para um projeto de software que era o objeto deste estudo. Restaram então 34 questionários respondidos para o estudo. Próximo passo foi investigar a existência de valores atípicos na amostra que pudessem afetar a análise como um todo. Valores atípicos são observações muito diferentes das demais que podem ser removidas para não afetar as estatísticas (FIELD, 2009). Para evitar esse tipo de distorção na análise julgou-se necessário excluir 3 projetos que apresentaram valores atípicos para EE (P18, P33 e P34). Com a remoção dos valores atípicos restou um conjunto final de 31 observações que foram utilizadas nas análises estatísticas.

5. Análise de resultados

Inicialmente foi realizada uma análise do perfil dos respondentes, os quais foram questionados quanto a sua formação acadêmica e tempo de experiência profissional. Os resultados indicam que a experiência média de 15,9 anos, com valores que variaram de 5 à 25 anos. Do total de respondentes 13 possuem graduação, 6 pós graduação, 10 mestrado e 2 não informaram seu nível acadêmico. Também foi coletada informação sobre o perfil dos projetos quanto ao modelo de desenvolvimento utilizado e tipo de técnica de estimativa. A grande maioria (26 projetos) afirmaram adotar modelo adaptativo de desenvolvimento. Apenas 4 projetos adotaram modelo preditivo e um não informou o modelo utilizado.

Quanto às técnicas de estimativa, o trabalho confirma a revisão de literatura, pois a maioria dos 31 projetos analisados (28) adotou opinião especializada (MCCONELL, 2006). Apenas 2 projetos utilizaram modelos paramétricos e um informou utilizar ambos.

Estatísticas descritivas para o conjunto de 31 projetos da amostra são apresentadas na Tabela 2. Observa-se que os projetos têm em média 10,92 meses de duração, sendo que o maior chegou a 32. O esforço teve média de 77,85 meses, variando de 2,76 à 268 meses. O resultado da divisão do esforço médio pela duração média ($77,85/10,92$) é de 7,13 meses, levando a conclusão de que as equipes de projeto tem aproximadamente 7 pessoas em média.

Tabela 2

Estatísticas Descritivas sobre Duração e Esforço

	Duração Estimada (meses)	Duração Final (meses)	Erro de Duração (ED)	Esforço Estimado (meses)	Esforço Final (meses)	Erro de Esforço (EE)
Média	9,10	10,92	0,28	65,89	77,85	0,24
Mediana	8,00	9,00	0,25	39,00	52,00	0,20
Desvio Padrão	5,80	6,53	0,23	61,03	73,42	0,18
Moda	8,00	6,00 ^a	0,33	2,53 ^a	31,50 ^a	0,09
Mínimo	2,25	2,25	0,00	2,53	2,76	0,00
Máximo	24,00	32,00	1,00	264,00	268,00	0,71

^a Múltiplas modas existem. O menor valor foi apresentado.

Quanto ao erro de duração (ED) foi possível constatar que os valores de média (28%), mediana (25%) e moda (33%) ficaram próximos, mas um pouco acima do valor proposto pela literatura (22%). Já o erro de esforço (EE) apresentou média (24%), mediana (20%) e moda (9%) que são valores melhores que o proposto pela literatura (30%). Cabe ressaltar que houve projetos que reportaram não ter erro de duração (ED=0) e de esforço (EE=0). Por fim, verifica-se a existência de projetos com ED=1, ou seja, 100% de erro de duração. Juntando este caso com os valores atípicos apresentados anteriormente constata-se que a pesquisa está em linha com estudos publicados anteriormente afirmando que estimativas de projetos de software constantemente resultam em erro de 100% ou mais (MCCONELL, 2006).

Observa-se também que a maioria dos projetos (24) teve duração final acima da estimada. Isto mostra uma maior constância de erro por sub-estimativa do que super-estimativa, suportando o que foi relatado na literatura (MCCONELL, 2006). Do total, 4 projetos não apresentaram erro de duração (ED) e 3 projetos estimaram a duração abaixo da duração realizada. Quanto ao esforço observou-se o mesmo tipo de comportamento, 26 projetos apresentaram esforço final acima do esforço estimado e apenas 4 apresentaram esforço abaixo do estimado. Apenas um projeto não apresentou erro de esforço (EE). Também verificou-se que na grande maioria dos casos a direção do erro foi a mesma entre os dois tipos de erro. Ou seja, quando havia uma sub-estimativa do tempo de duração do projeto também havia uma sub-estimativa de esforço requerido.

5.1 Teste de hipóteses

Para testar as hipóteses de pesquisa foi realizada uma análise de correlação entre os erros de estimativa (ED e EE) e cada dimensão (Ds). Para tanto era necessário obter um único valor da escala Likert de 5 pontos que representasse a dimensão como um todo. A metodologia utilizada para obter esse índice foi uma média simples das respostas para as Fs da dimensão. Cada F tinha uma questão respectiva na escala Likert. No caso das dimensões D1 e D7 a escala precisou ser invertida, pois as questões dos fatores que compunham a dimensão estavam no padrão das demais questões do instrumento, ou seja, quanto maior o valor escolhido, menor o erro de estimativa esperado caracterizando uma associação inversa em vez de direta conforme proposto pela hipótese.

O próximo passo foi verificar o índice de correlação de cada uma das dimensões com ED e EE. Optou-se por utilizar o coeficiente de Spearman, mais apropriado para distribuições não normais que foi o tipo de distribuição constatada nos dados de ED e EE desta pesquisa ao rodar o teste de Shapiro-Wilk. A Tabela 3 apresenta os coeficientes. Apenas os projetos de modelo preditivo (n=4) foram utilizados na análise de correlação de D1 conforme proposto pela hipótese H1. Todos os projetos (n=31) foram utilizados na análise das demais dimensões. Para considerar uma hipótese como confirmada utilizou-se como critério a existência de correlação entre a dimensão e o erro de estimativa com significância estatística ($p < 0,05$) no sentido proposto pela hipótese de pesquisa.

Tabela 3

Índice de correlação das dimensões com o Erro de Estimativa

Dimensões de Análise (D)	Erro de Duração (ED)	Erro de Esforço (EE)
D1 – Incerteza do Projeto	,632	,632
D2 - Processo de Estimativa	-,204	-,232
D3 - Experiência da Equipe	-,098	-,174
D4 - Trabalho em Equipe	-,409*	-,326*
D5 - Controle de Execução	-,378*	-,192
D6 - Gerencia de recursos	-,400*	-,457**
D7 – Complexidade e Tamanho	,264	,169

** Correlação com significância ao nível de 0,01 (unicaudal)

* Correlação com significância ao nível de 0,05 (unicaudal)

- H1 - Em projetos de modelo preditivo, a incerteza está diretamente associada a erros de estimativa de esforço e de duração.

Esta hipótese não foi confirmada. Os índices de correlação de D1 para projetos preditivos não apresentaram significância estatística. Acredita-se que o motivo disso tenha sido o baixo número de observações coletadas para projetos de modelo preditivo (n=4). Nesta dimensão foi constatado que, ao considerar o conjunto total de observações (n=31), foi obtida a correlação positiva com significância estatística para ED (0,460; $p < 0,01$). Isto significa que, se a hipótese considerasse todo o conjunto de projetos (preditivos + adaptativos) em vez de apenas os preditivos, estaria confirmada para ED.

- H2 - Uso de boas práticas no processo de estimativa está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.

Esta hipótese não foi confirmada. Não foi observada correlação estatisticamente significante para D2.

- H3 - Uso de profissionais experientes está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.

Esta hipótese não foi confirmada. Não foi observada correlação estatisticamente significante para D3.

- H4 - Trabalho em equipe está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.

Esta hipótese está confirmada tanto para ED quanto para EE. Conforme proposto pela hipótese de pesquisa observou-se associação inversa entre o trabalho em equipe e o erro de

estimativa de duração (-0,409; $p < 0,05$) e entre o trabalho em equipe e o erro de estimativa de esforço (-0,326; $p < 0,05$). Ou seja, conclui-se que maior trabalho em equipe leva a menores erros de estimativa de esforço e de duração.

- H5 - Controle do projeto está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.

Esta hipótese está confirmada para ED, porém não confirmada para EE. Conforme proposto pela hipótese de pesquisa observou-se associação inversa entre o controle de execução do projeto e o erro de estimativa de duração (-0,378; $p < 0,05$). Desta forma, verifica-se que um melhor controle do projeto contribui para entregar o projeto no prazo de duração estimado. Isto apoia o proposto pela literatura que diz que uma vez o projeto estimado, é necessário controlá-lo para atingir as estimativas. O fato de haver uma associação apenas com o erro de duração possivelmente seja pelo fato de que maior controle do projeto possa, por exemplo, implicar em uma ação de alocação de mais pessoas no projeto para conseguir entregá-lo no prazo. Esta seria uma situação que o maior controle do projeto contribuiria para menor erro de estimativa de duração, porém não para um menor erro de estimativa de esforço.

- H6 - Gerência dos recursos está inversamente associada a erros de estimativa de esforço e de duração.

Esta hipótese está confirmada tanto para ED, como para EE. Conforme proposto pela hipótese de pesquisa observou-se associação inversa entre a gerência de recursos e o erro de estimativa de duração (-0,400; $p < 0,05$) e entre a gerência de recursos e o erro de estimativa de esforço (-0,457; $p < 0,01$). Desta forma, verifica-se que uma melhor gerência dos recursos do projeto contribui para entregar o projeto no prazo de duração estimado e dentro do esforço estimado.

- H7 - Tamanho e complexidade do projeto estão diretamente associados a erros de estimativa de esforço e de duração.

Esta hipótese não foi confirmada. Neste estudo o tamanho do projeto (F31) foi medido pela quantidade de esforço para desenvolver o projeto sendo que, quanto maior o esforço, maior o tamanho do projeto. Sendo assim, antes foi necessário adaptar o fator F31 a escala padrão de 5 pontos do instrumento de pesquisa. Após esta etapa foi gerada a pontuação média da dimensão D7 e por fim, a análise de correlação. Como resultado verifica-se que esta hipótese não foi confirmada pois não foi observada correlação estatisticamente significativa para D7.

Tabela 4

Resumo da confirmação de hipóteses

Hipótese	Dimensão de mensuração	Fatores	N	Análise
- H1 - Em projetos de modelo preditivo, a incerteza está diretamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.	D1 – Incerteza do Projeto	F1-F6	4 (apenas projetos Preditivos)	Hipótese não confirmada.
- H2 - Uso de boas práticas no processo de estimativa está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.	D2 - Processo de Estimativa	F7-F12	31	Hipótese não confirmada.
- H3 - Uso de profissionais experientes está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.	D3 - Experiência da Equipe	F13-F15	31	Hipótese não confirmada.
- H4 - Trabalho em equipe está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.	D4 - Trabalho em Equipe	F16-F19	31	Hipótese confirmada para ED e EE ($p<0,05$).
- H5 - Controle do projeto está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.	D5 - Controle de Execução	F20-F24	31	Hipótese confirmada para ED ($p<0,05$).
- H6 - Gerência dos recursos está inversamente associada a erros de estimativa de esforço e duração.	D6 - Gerencia de recursos	F25-F29	31	Hipótese confirmada para ED e EE ($p<0,05$).
- H7 -Tamanho e complexidade do projeto estão diretamente associados a erros de estimativa de esforço e duração.	D7 – Complexidade e Tamanho	F30-F31	31	Hipótese não confirmada.

6. Conclusões

A motivação deste estudo foi expandir o conhecimento sobre as razões para diferenças entre estimado e realizado no que diz respeito à duração e esforço de projetos de software. Neste sentido, colocou-se como objetivo identificar os fatores que mais contribuem para explicar o erro de estimativas de esforço e de duração em projetos de software.

Trinta e um fatores classificados em sete dimensões de análise foram identificados na literatura e revisão com especialistas. O instrumento de pesquisa foi então disponibilizado sendo que os projetos são na sua maior parte adeptos ao modelo adaptativo de desenvolvimento e utilizam opinião especializada como técnica de estimativa. Os projetos possuem duração média de aproximadamente 11 meses e esforço médio de aproximadamente 78 meses. Erro de Duração (ED) médio ficou em 28% e Erro de Esforço (EE) médio ficou em 24%, valores próximos ao citado pela literatura como sendo o índice de erro para esse tipo de estimativa. Projetos maiores chegaram a 32 meses de duração e 268 meses de esforço. Erro de Duração (ED) chegou a 100% e de Esforço (EE) a 71%. Observou-se também que a maior parte dos erros foram de sub-estimativa. Aproximadamente 77% tiveram duração maior que a estimada e 84% com esforço maior que o estimado. Verificou-se uma associação direta entre esforço e duração do projeto, ou seja, quando um cresce o outro cresce também. Ao realizar o teste de hipóteses, 3 delas obtiveram confirmação: H4 - Trabalho em equipe está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração. Ou seja, quanto melhor o trabalho em equipe menor o erro de estimativa. Esta hipótese foi confirmada para ambos ED e EE ($p<0,05$); H5 - Controle do projeto está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração. Ou seja, quanto melhor o controle do projeto menor o erro de estimativa. Esta hipótese obteve confirmação para ED ($p<0,05$); H6 - Gerência dos recursos

está inversamente associada a erros de estimativa de esforço e duração. Ou seja, quanto melhor a gerência de recursos, menor o erro de estimativa. Esta hipótese teve confirmação para ambos ED e EE ($p < 0,05$). Também foi constatado que a incerteza do projeto está diretamente associada ao erro de estimativa de duração (ED). Porém, com a diferença que a associação foi constatada no conjunto completo de observações, não apenas nos projetos de modelo preditivo conforme propunha H1.

De forma geral, conclui-se que realizar boas estimativas é apenas uma parte de um vasto conjunto de elementos que, em conjunto, permitem entregar os projetos no prazo e esforço estimado. As boas práticas de estimativa permitem não cometer erros de grande ordem de magnitude. Um bom processo de estimativa permite definir estimativas realistas. Porém, isso não é tudo. Conforme visto na literatura e depois comprovado pelo conjunto de projetos estudado recomenda-se que, uma vez estimado, o projeto precisa ser controlado para atingir as estimativas. Mais do que isso, fatores como a redução das incertezas do projeto, uma boa gerência de recursos, passando pela correta identificação dos profissionais que devem ser alocados no projeto e a sua disponibilização no momento adequado são relevantes para que o realizado fique próximo do estimado. Isso tudo, deve estar aliado a uma equipe unida que trabalhe de forma colaborativa e comprometida com a entrega do projeto no prazo e esforço estimado.

7. Referências

- ABES. Mercado Brasileiro de software Panorama e Tendências 2009, 2009. Disponível em: <<http://www.abes.org.br/arquivos/MercadoBR-2009-ResumoExec.pdf>>. Acesso em 15/05/2010.
- BERKUN, S. The Art of Project Management. EUA: O'Reilly, 2005.
- BECK et al. Manifesto for Agile Software Development. Disponível em: <<http://agilemanifesto.org/>>. Acesso em 30/09/2010.
- BOEHM, B. Software Engineering Economics. EUA: Prentice Hall, 1981.
- BOEHM, B; SULLIVAN, K. Software economics: status and prospects. EUA: Information and Software Technology, 1999.
- BROOKS, F. The Mythical Man Month – Essays on Software Engineering. 20th Anniversary Edition. EUA: Addison Wesley, 1995.
- CNN MONEY: Fortune 500. Disponível em <<http://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune500/2011/index.html>>. Acessado em Nov/2011.
- COOPER, D; SCHINDLER, P. Métodos de Pesquisa em Administração. 7ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- COHN, M. Agile Estimating and Planning. EUA: Prentice Hall, 2006.
- FIELD, A. Discovering Statistics using SPSS. 3rd ed. Inglaterra: SAGE, 2009.
- FOWLER, M. The New Methodology. EUA, 2005. Disponível em: <<http://www.martinfowler.com/articles/newMethodology.html#PredictiveVersusAdaptive>>. Acesso em 19/02/2011.
- IIR (Industrial Information Resources). Industrial outlook for project spending in 2003 and beyond, 2002. Disponível em <http://www.ecc-conference.org/34/pdfs/lewis_v3.pdf>. Acessado em 15/05/2010.

- JONES, C. Estimating Software Costs – Bringing Realism to Estimating. EUA: McGraw-Hill, 2007.
- JØRGENSEN, M. A review of studies on expert estimation of software development effort. Noruega: The Journal of Systems and Software, 2002.
- JØRGENSEN, M.; MOLØKKEN-ØSTVOLD, K. A Review of Surveys on Software Effort Estimation. Noruega: International Symposium on Empirical Software Engineering (ISESE'03), 2003.
- JØRGENSEN, M.; MOLØKKEN-ØSTVOLD, K. Reasons for Software Estimation Error: Impact of Respondent Role, Information Collection Approach, and Data Analysis Method. EUA: IEEE Transactions on Software Engineering, 2004.
- JØRGENSEN, M.; MOLØKKEN-ØSTVOLD, K. A Comparison of Software Project Overruns – Flexible versus Sequential Development Models. EUA: IEEE Transactions on Software Engineering, 2005.
- JØRGENSEN, M.; SHEPPERD, M. A Systematic Review of Software Development Cost Estimation Studies. EUA: IEEE Transactions on Software Engineering, 2007.
- JØRGENSEN, M.; GRIMSTAD, S. Avoiding Irrelevant and Misleading Information When Estimating Development Effort. EUA: IEEE Software, 2008.
- JØRGENSEN, M.; GRUSCHKE, T. The Impact of Lessons-Learned Sessions on Effort Estimation and Uncertainty Assessments. EUA: IEEE Transactions on Software Engineering, 2009.
- KERZNER, H. Project Management – A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling. Tenth Edition. EUA: Wiley, 2009.
- LEDERER, A.; PRASAD, J. Causes of Inaccurate Software Development Cost Estimates. EUA: J. Systems Software, 1995.
- MCCONNELL, S. Software Estimation. EUA: Microsoft Press, 2006.
- MORGENSHTERN, O.; RAZ, T.; DVIR, D. Factors affecting duration and effort estimation errors in software development projects. Information and Software Technology, 2006.
- PMI (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE). Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK). 4ed. Project Management Institute, 2008.
- PUTNAM, L.; MYERS, W. EUA: Five Core Metrics. Dorset House Publishing, 2007.
- STANDISH GROUP. Chaos Summary 2009. Disponível em <http://www1.standishgroup.com/newsroom/chaos_2009.php>. Acesso em 15/05/2010.