

stricto
SENSU
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E ECONOMIA
MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS**

JUAN O'KEEFFE

**ANÁLISE DE FATORES DE IMPACTO NO ERRO DE ESTIMATIVA
DE ESFORÇO E DE DURAÇÃO EM PROJETOS DE SOFTWARE.**

**Porto Alegre
2012**



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E ECONOMIA

JUAN O'KEEFFE

**ANÁLISE DE FATORES DE IMPACTO NO ERRO DE ESTIMATIVA
DE ESFORÇO E DE DURAÇÃO EM PROJETOS DE SOFTWARE.**

Porto Alegre

2012

JUAN O'KEEFFE

**ANÁLISE DE FATORES DE IMPACTO NO ERRO DE ESTIMATIVA
DE ESFORÇO E DE DURAÇÃO EM PROJETOS DE SOFTWARE.**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Administração, da Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia, da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Leonardo Rocha de Oliveira, Ph.D.

Porto Alegre

2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo amor, saúde e felicidade que faz presente na minha vida. A meus pais e irmã que me deram educação, amor e suporte irrestrito nesta e em todas minhas jornadas. A minha esposa Lyz pelo incentivo à realização do mestrado, amor e companheirismo no dia a dia. A Cármen Fuhrich, Luis Saraiva, Franco Vieira, Jorge Lisboa, Cirano Silveira, Ricardo Branco, Edson Nery e Mauricio Gasparote pelo suporte da HP na realização do mestrado e apoio ao meu desenvolvimento profissional. Aos colegas da HP que contribuíram respondendo esta pesquisa. Ao Professor Orientador Leonardo Oliveira pela convivência, ensinamentos e dedicação ao longo deste trajeto. A Professora Edimara Luciano pelo apoio para iniciar o curso de mestrado, ensinamentos e suporte ao longo do percurso. Ao Prof. Vinicius Brasil por apostar em mim. Ao Prof. Rafael Prikladnicki e Prof. Flávio Fogliatto pela participação na banca. Ao Prof. David Martin Johnston pelos caminhos oferecidos.

O41a O'Keeffe, Juan Franciso Fonseca
Análise de fatores de impacto no erro de estimativa de
esforço e de duração em projetos de software. / Juan
Franciso Fonseca O'Keeffe. – Porto Alegre, 2012.
92 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Administração e Negócios) –
Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia,
PUCRS.

Área de Concentração: Administração Estratégica.

Linha de Pesquisa: Gestão da Informação.

Orientação: Prof. Dr. Leonardo Rocha de Oliveira.

1. Administração de Empresas. 2. Tecnologia da
Informação. 3. Sistemas de Informação - Administração.
4. Estimativas em Projetos de Software. 5. Planejamento
de Sistemas. 6. Administração de Projetos. I. Oliveira,
Leonardo Rocha de. II. Título.

CDD 658.4038

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária:
Cíntia Borges Greff – CRB 10/1437

JUAN FRANCISCO FONSECA O'KEEFE

ANÁLISE DE FATORES DE IMPACTO NO ERRO DE ESTIMATIVA DE ESFORÇO E DE DURAÇÃO EM PROJETOS DE SOFTWARE

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Administração, pelo Mestrado em Administração e Negócios da Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovado em 29 de março de 2012, pela Banca Examinadora.

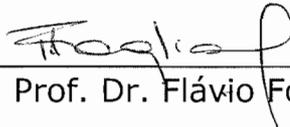
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Leonardo Rocha de Oliveira
Orientador e Presidente da sessão



Prof. Dr. Rafael Prikladnicki



Prof. Dr. Flávio Fogliato



Profª. Dr. Edimara Mezzomo Luciano
Coordenadora do PPGAd e parecer A

RESUMO

Recursos de Tecnologia de Informação (TI) têm representado um papel crescente no mercado suportando atividades operacionais e estratégicas de tomada de decisões sobre objetivos de negócios. Atividades de desenvolvimento de software é uma parte importante do total de recursos de TI consumido pelas empresas. O mercado brasileiro de software e serviços relacionados atinge atualmente quase 1% do PIB brasileiro e com crescimento a cada ano, oferecendo oportunidades para profissionais e organizações provedoras de produtos e serviços de desenvolvimento de software. Ao mesmo tempo em que cresce o volume de negócios, pesquisas indicam que a maior parte dos projetos de software excede a quantidade de esforço e/ou duração estimada, o que representa problemas para organizações clientes e prestadoras de serviços. Este trabalho tem por objetivo identificar os fatores que mais contribuem para minimizar o erro de estimativa (i) de esforço e (ii) de duração em projetos de software. A pesquisa adota um método quantitativo de hipótese explanatória. As dimensões e fatores para análise dos erros de estimativa foram definidos com base na revisão de literatura sobre o tema e pré-testes com especialistas. As conclusões do trabalho apontam para trabalho em equipe, controle de execução e gerência de recursos como sendo os principais responsáveis por minimizar o erro de estimativa.

Palavras-chave: Gestão de Tecnologia da Informação, Gestão de Projetos de Software, Estimativas em Projetos de Software, Estimativas de Esforço de Projeto, Estimativas de Duração de Projeto.

ABSTRACT

Information Technology (IT) resources are representing a growing role in the market, supporting operational and strategic business activities. Software development activities are an important part of the total IT resources consumed by companies. The Brazilian software market and related services are almost 1% of Brazilian GDP and growing year after year, offering opportunities for professionals and organizations that provide software products and services. As the business volume grows, the literature indicates that most software development projects show duration and/or effort overruns, which represent problems for client organizations and service providers. These problems are related to (i) effort and (ii) duration estimation errors. The objective of this work is to identify the factors that mainly contribute to minimize effort and duration estimation errors in software development projects. The research adopts a quantitative method of explanatory hypothesis. The dimensions and analysis factors were defined based on the literature review and pre-tests with specialists. Conclusions show that teamwork, execution control and resource management are the main responsables for minimizing estimation error.

Key-words: Information Technology Management, Software Project Management, Software Project Estimation, Project Effort Estimation, Project Duration Estimation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cone da Incerteza.....	27
Figura 2 – Desenho de Pesquisa	47
Figura 3 – Função do Respondente.....	64
Figura 4 – Nível de Escolaridade do Respondente	64
Figura 5 – Local de Desenvolvimento	65
Figura 6 – Unidade de Negócio	65
Figura 7 – Metodologia de Desenvolvimento	65
Figura 8 – Tipo de Técnica de Estimativa Utilizada.....	65
Figura 9 – Histograma Erro de Duração (ED).....	67
Figura 10 – Histograma Erro de Esforço (EE)	67
Figura 11 – Histograma Duração Final.....	67
Figura 12 – Histograma Esforço Final.....	67
Figura 13 – Projetos por Direção do Erro de Estimativa de Duração.....	68
Figura 14 – Projetos por Direção do Erro de Estimativa de Esforço.....	68
Figura 15 – Erro Médio Acumulado	69
Figura 16 – Distribuição de respostas por fator.....	72
Figura 17 – Média das respostas por fator	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de acurácia de estimativa	38
Tabela 2 – Cronograma de Estimativas	39
Tabela 3 – Perfil dos participantes	49
Tabela 4 – Resumo do pré-teste do instrumento de pesquisa	53
Tabela 5 – Fatores (Fs) por Dimensão (Ds)	56
Tabela 6 – Questões por fator	57
Tabela 7 – Dimensões e fatores por hipótese	59
Tabela 8 – Estatísticas Descritivas sobre Duração e Esforço	66
Tabela 9 – Erro de Estimativa por Projeto	70
Tabela 10 – Exemplo cálculo índice da Dimensão	74
Tabela 11 – Índice de correlação das dimensões para todos projetos	74
Tabela 12 – Resumo da confirmação de hipóteses	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira das Empresas de Software
BRE	Balanced Relative Error
COCOMO II	Constructive Cost Model II
D	Dimensão de Análise
ED	Erro de Estimativa de Duração
EE	Erro de Estimativa de Esforço
ESSN	Enterprise Servers, Storage & Network
F	Fator de Análise
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFPUG	International Function Point Users Group
IIR	Industrial Information Resources
IPG	Imaging & Printing Group
KMO	Keiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy
MRE	Magnitude of Relative Error
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OGC	Office of Government Commerce
OPM3	Organizational Project Management Maturity Model
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
PRICE-S	Parametric Review of Information for Costing and Evaluation – Software
PRINCE2	Projects in Controlled Environments Version 2
R&D	Research & Development
RUP	Rational Unified Process
SEER-SEM	System Evaluation and Estimation of Resources – Software Estimating Model
SLIM	Software Life Cycle Model
SLOCs	Source Lines of Code
SPR	Software Productivity Research

TI	Tecnologia da Informação
WBS	Work Breakdown Structure
USC CSSE	University of Southern California Center for Systems and Software Engineering
XP	Extreme Programming

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA E QUESTÃO DE PESQUISA	12
1.2	IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	13
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	GESTÃO DE PROJETOS E A ESTRATÉGIA DA ORGANIZACIONAL	17
2.1	ABORDAGENS PARA GERÊNCIA DE PROJETOS	20
2.1.1	Pmbok	20
2.1.2	Prince2.....	22
2.1.3	Rup	23
2.1.4	Métodos Ágeis	24
2.2	ESTIMATIVA NA GESTÃO DE PROJETOS DE SOFTWARE	26
2.2.1	Medidas de Tamanho de Software	28
2.2.2	Técnicas de Estimativa	29
2.2.2.1	Técnicas baseadas em modelos paramétricos	29
2.2.2.2	Técnicas de opinião especializada	33
2.2.3	Boas Práticas de Estimativa	36
2.2.4	Cálculo do Erro de Estimativa	39
2.2.5	Fatores Relacionados a Erros de Estimativa	40
3	MÉTODO DE PESQUISA	46
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO MÉTODO	46
3.2	DESENHO DE PESQUISA.....	46
3.3	ELABORAÇÃO DO INSTRUMENTO DE PESQUISA	47
3.3.1	Pré-Teste do Instrumento de Pesquisa	48
3.4	DIMENSÕES E FATORES DE ANÁLISE	54
3.5	HIPÓTESES.....	58
3.6	ADMINISTRAÇÃO DA SURVEY	59
3.7	TÉCNICAS ESTATÍSTICAS.....	59
3.8	AMOSTRA	61
3.8.1	Sanitização da Amostra	62
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	64
4.1	PERFIL DOS RESPONDENTES	64
4.2	PERFIL DOS PROJETOS	64
4.3	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	66
4.4	TESTE DE HIPÓTESES	73
4.5	ANÁLISE DAS QUESTÕES ABERTAS.....	78
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	81
5.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	83
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	84
6	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

O mercado brasileiro de software e serviços relacionados vem crescendo ano a ano, tendo quase triplicado entre 2004 e 2008, passando de U\$ 5,98 bilhões (2004) para U\$ 15 bilhões (2008) (ABES, 2009). Esse 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). O mercado mundial de software e serviços relacionados atingiu o patamar de U\$ 872,8 bilhões em 2008, tendo o Brasil ficado em 12º lugar no ranking mundial (ABES, 2009). O setor de Tecnologia da Informação como um todo, chegou à marca de US\$ 1,470 trilhão mundialmente nesse ano (ABES, 2009).

Presentes nessa realidade de crescimento do mercado estão os inúmeros problemas enfrentados na condução dos projetos, entre eles, o erro de estimativas. As estimativas servem ao processo de planejamento do projeto e estimativas acuradas são cruciais nesse processo. Nesse contexto, este trabalho visa identificar os fatores que mais contribuem para minimizar o erro de estimativas de esforço e de duração em projetos de software. Inicia-se com a delimitação e justificativa do tema, questão de pesquisa e objetivos. O trabalho prossegue com uma revisão teórica sobre estratégia empresarial, gestão de projetos e estimativa em projetos de software. Logo após, é apresentado o método de pesquisa, incluindo a elaboração do instrumento de pesquisa, pré-teste com especialistas e hipóteses de pesquisa. Por fim, é apresentada a análise dos resultados da pesquisa e validação das hipóteses propostas pelo estudo.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA E QUESTÃO DE PESQUISA

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. O presente trabalho tem como objeto de estudo dois tipos de erro de estimativa (i) de esforço e (ii) de duração. 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). Em projetos de software, o esforço é geralmente expresso em meses ou horas e é dado pela multiplicação do número de profissionais alocados no projeto pelo tempo de alocação no projeto (JONES, 2007). Duração diz respeito ao tempo de calendário decorrido do início ao fim do projeto sendo definida pelo número total de

períodos de trabalho necessários para terminar uma atividade do cronograma ou um componente da estrutura analítica do projeto (PMI, 2008).

Nos projetos de software em que a necessidade real de esforço ultrapassa o valor estimado, a solução mais comum é 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). 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 previsibilidade e confiabilidade nas datas de entrega são importantes para as partes interessadas no projeto. Atrasos podem comprometer demais planos 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 ultrapassa em média 22% o tempo estimado (MORGENSHTERN, RAZ, DVIR, 2006).

Sendo assim, coloca-se a seguinte questão de pesquisa: **Quais os fatores que mais contribuem para minimizar o erro de estimativas de esforço e de duração em projetos de software?**

1.2 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA

Junto ao crescimento do mercado de software, surgem evidências de projetos fracassados e investimentos perdidos. Alguns exemplos notáveis do que investimentos errôneos em projetos de software podem causar são os das empresas J Sainsbury PLC e Fox Meyer Drug Co (IEEE, 2005). A primeira, uma empresa do setor de alimentos britânica perdeu, em 2004, US\$ 526 milhões investidos em um sistema automatizado de gerência de fornecimento (IEEE, 2005). A segunda, uma empresa de cinco bilhões de dólares, decretou falência em 1996 devido à falha de implantação de um sistema de gerenciamento de recursos (IEEE, 2005). O sistema irlandês de pagamentos (PPARS) é mais um exemplo tendo sido 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 e MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2003). Outra pesquisa apresentou resultados semelhantes constatando que a taxa de projetos de TI que obtém 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). Do total, 24% dos projetos falham, ou seja, são cancelados antes de serem concluídos ou são entregues e nunca usados (STANDISH GROUP, 2009). A consequência disso é o desperdício de investimentos sendo que índices de falha desta magnitude são altos comparando com os índices de 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).

Esse contexto de alto índice de projetos de software que ultrapassam os prazos e custos estimados e o conseqüente problema que isto representa para as empresas e para a economia como um todo, apresenta oportunidade para que atitudes corretivas sejam adotadas. Essa evolução passa por uma melhoria nas estimativas do projeto de forma a contribuir para que os projetos sejam concluídos dentro das estimativas iniciais de esforço e de duração. Assim, 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.

1.3 OBJETIVOS

A seguir é apresentado o objetivo geral e os objetivos específicos do presente trabalho.

1.3.1 Objetivo Geral

Identificar os fatores que mais contribuem para minimizar o erro de estimativas de esforço e de duração em projetos de software.

1.3.2 Objetivos Específicos

O presente trabalho tem como objetivos específicos:

- Identificar as técnicas de estimativa de esforço e de duração
- Identificar os fatores que mais contribuem para minimizar o erro de estimativa segundo a literatura
- Identificar os fatores que mais contribuem para minimizar o erro de estimativa segundo a amostra de projetos estudada

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado nas seguintes seções:

Capítulo 1 – Introdução: Contêm a parte introdutória do trabalho, delimitação do tema, questão de pesquisa, importância e justificativa do tema, objetivo geral e objetivos específicos.

Capítulo 2 – Gestão de Projetos e a Estratégia Organizacional: Faz uma revisão teórica sobre o tema discorrendo sobre a relação do gerenciamento de projetos com a estratégia empresarial, metodologias de gerenciamento de projetos, técnicas e boas práticas de estimativa de projetos de software, metodologia de cálculo do erro de estimativa e principais fatores de impacto no erro de estimativa.

Capítulo 3 – Método de Pesquisa: Apresenta a caracterização do método de pesquisa, desenho de pesquisa, elaboração do instrumento de pesquisa, processo de pré-teste do instrumento com especialistas, dimensões e fatores de análise, hipóteses de pesquisa e método de administração da survey.

Capítulo 4 – Análise de Resultados: Apresenta a amostra de observações utilizadas no estudo, perfil dos respondentes, perfil dos projetos estudados, processo utilizado para fazer uma sanitização da amostra, estatísticas descritivas, análise fatorial, teste de hipóteses e análise das questões abertas.

Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações: Apresenta as conclusões e recomendações do estudo, limitações da pesquisa e recomendações para pesquisas futuras.

2 GESTÃO DE PROJETOS E A ESTRATÉGIA DA ORGANIZACIONAL

Um projeto é definido como um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo (PMI, 2008). O gerenciamento de projetos, por sua vez, é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos (PMI, 2008). Para Kerzner (2009), o gerenciamento de projetos é o planejamento, organização, direção e controle de recursos para alcançar determinadas metas e objetivos estabelecidos para um período de tempo relativamente curto. Os projetos são frequentemente utilizados como meio de atingir o plano estratégico de uma organização sendo autorizados como resultado de uma ou mais das seguintes considerações estratégicas: demanda de mercado, oportunidade ou necessidade estratégica de negócios, solicitação de cliente, avanço tecnológico ou requisito legal (PMI, 2008).

O alinhamento entre a estratégia organizacional e os projetos é conduzido em um contexto mais amplo regido por programas e portfólios (PMI, 2008). Um programa é definido como um grupo de projetos relacionados, gerenciados de modo coordenado para a obtenção de benefícios e controle que não estariam disponíveis se eles fossem gerenciados individualmente (PMI, 2008). Um portfólio, por sua vez, refere-se a um conjunto de projetos ou programas e outros trabalhos, agrupados para facilitar o gerenciamento eficaz desse trabalho a fim de atingir os objetivos estratégicos do negócio (PMI, 2008). Os portfólios possuem um escopo de negócios que muda com os objetivos estratégicos da organização (PMI, 2008). Observa-se que os projetos ou programas do portfólio podem não ser necessariamente interdependentes ou diretamente relacionados (PMI, 2008). Um portfólio pode, por exemplo, incluir uma mescla de projetos de petróleo, energia e água sendo que todos os projetos de energia podem ser agrupados como um programa de energia (PMI, 2008). Shenhar et al. (2007) definem o alinhamento da gerência de projeto e estratégia empresarial como sendo um estado colaborativo interno em que atividades de projeto continuamente suportam o atingimento de objetivos estratégicos da Organização. Quando existe alinhamento entre os diferentes níveis da empresa, a estratégia organizacional alimenta a gerência de portfólio que por sua vez alimenta a gerência de projeto, que então alimenta o projeto e a sua equipe (SHENHAR et al, 2007). De forma geral, as estratégias e prioridades organizacionais estão vinculadas e possuem relações entre portfólios e programas, bem como entre programas e projetos individuais (PMI, 2008). O PMI também elaborou um framework denominado OPM3 (*Organizational Project Management Maturity Model*) que provê uma

visão organizacional sobre gerência de portfólio, programas e projetos (PMI, 2008). O OPM3 contém melhores práticas elaboradas para garantir às Organizações a execução de estratégias usando iniciativas e investimentos que melhor suportem o atingimento dos seus objetivos (PMI, 2008).

Ao decidir os projetos que devem ser executados na Organização, o planejamento organizacional deve utilizar-se da gestão de portfólios, onde é feita a priorização e a seleção de projetos que devem ser executados com base no risco, financiamento e plano estratégico da organização (PMI, 2008). Antes de começar um projeto é necessário perguntar se este irá contribuir para a estratégia de longo prazo do negócio e como o projeto irá ajudar a vencer os competidores (BERKUN, 2005). Por outro lado, a visão do negócio não significa que todos os projetos devem ser escravos da lucratividade, em vez disso, avalia os projetos baseado nas suas contribuições para a estratégia do negócio (BERKUN, 2005). Como exemplo, cita-se um projeto estratégico que pode ser essencial para a organização, mesmo sem apresentar expectativa de geração de receita (BERKUN, 2005).

Outro fator relevante no alinhamento entre a estratégia da empresa e a gestão do projeto é o relacionamento entre a gerência de projeto e o nível executivo da Organização. Historicamente, as organizações têm reconhecido o planejamento estratégico, gerência de portfólio e seleção de projetos como responsabilidades governadas por executivos, enquanto planejamento de projeto e processos de execução como atividades de gerentes de projeto e suas equipes (SHENHAR et al, 2007). Nesse aspecto, a conexão entre esses dois níveis da Organização deve se fazer presente. A alta gerência da organização deve, por exemplo, entender os princípios da gerência de projeto de forma que possam estabelecer uma expectativa realista sobre o que esperar como resultado (LEWIS, 2007). Para Lewis (2007), quando a alta gerência não é envolvida, o programa tem vida curta. Já para Kerzner (2009) é esperado que os executivos de negócio interajam de perto com o projeto na sua fase inicial e de planejamento, mas que remanesçam distante durante a execução do projeto a menos que haja necessidade de rever prioridades ou resolver conflitos. O executivo encarregado de uma unidade estratégica de negócio atua mais como patrocinador de todos os programas e projetos da unidade de negócio (KERZNER, 2009). Por outro lado, segundo o autor, quando um executivo atua como patrocinador do projeto, têm a responsabilidade de tomar decisões que afetem o projeto de forma efetiva e em um tempo adequado. Para alcançar isto, precisa receber do gerente de projeto informações completas, precisas e no momento adequado (KERZNER, 2009).

A decisão estratégica em projetos envolve diferentes aspectos, como por exemplo, a definição de como a empresa compete no mercado no que diz respeito aos processos dos projetos (SLAUGHTER et al., 2006). A estratégia da empresa precisa decidir, por exemplo, entre a customização de um produto por um lado e a sua padronização por outro (SLAUGHTER et al., 2006). Estudo mostrou que uma empresa apresentava 150 diferentes processos de desenvolvimento em função de sua estratégia de desenvolvimento customizado, enquanto outra focou na comoditização do produto não havendo tal necessidade de diferentes processos (SLAUGHTER et al., 2006).

Quanto à gestão do projeto em si, projetos gerenciados estrategicamente são focados no atingimento de resultados de negócio, enquanto projetos gerenciados operacionalmente são focados na realização do trabalho (SHENHAR et al, 2007). Gerentes de projetos gerenciados estrategicamente investem significativa parte do seu tempo em atividades e decisões que melhorem os resultados de negócio de forma conectada à estratégia de negócio (SHENHAR et al, 2007). São gerentes de projeto capazes de articular uma visão estratégica clara para os membros da equipe. Desta forma, além de zelarem pelos tradicionais aspectos da gerência de projeto como cronograma e custo, estão também envolvidos com as necessidades dos clientes, vantagem competitiva trazida pelo projeto e futuro sucesso mercadológico (SHENHAR et al, 2007). Nesta perspectiva, a definição de projeto não considera apenas a tradicional declaração de trabalho informando o que precisa ser feito, mas inclui também informações relevantes sobre o produto sendo desenvolvido, vantagem competitiva esperada e estratégia (SHENHAR et al, 2007). O documento de requisitos de Marketing é uma forma de explicar as oportunidades de negócio existentes e como o projeto pode explorá-las (BERKUN, 2005). Desta forma, uma gerência estratégica do projeto oferece direções sobre o que dever ser feito e como fazê-lo para que seja obtido o melhor valor e vantagem competitiva possível (SHENHAR et al, 2007).

Por fim, ao se fazer a análise do todo se percebe a existência de três perspectivas a serem consideradas na gestão de projeto: negócio, engenharia e cliente (BERKUN, 2005). A perspectiva do negócio foca no impacto em P&L (*Profit & Loss* ou Lucro e Perda) o que envolve vendas, lucratividade, gastos, competição e custos (BERKUN, 2005). Já a visão da engenharia, coloca grande valor em como o produto deve ser construído (processos, tempo de desenvolvimento, *design* e qualidade), podendo perder a visão das necessidades do cliente (BERKUN, 2005). A terceira perspectiva é a do cliente sendo que esta é a mais importante das três, pois o projeto é feito para servir o cliente e a maior parte da energia deveria ser

investida em entendê-los (BERKUN, 2005). O Gerente de Projeto tem o papel chave de alinhar e integrar as três perspectivas: cliente, negócio e engenharia (BERKUN, 2005).

2.1 ABORDAGENS PARA GERÊNCIA DE PROJETOS

2.1.1 Pmbok

O Guia PMBOK (Project Management Body of Knowledge) foi desenvolvido pelo PMI (Project Management Institute) como sendo um padrão de normas, métodos, processos e práticas para gerência de projetos (PMI, 2008). O PMBOK fornece diretrizes para o gerenciamento de projetos, provendo um vocabulário comum para a profissão de gerência de projetos, definindo conceitos relacionados e descrevendo o ciclo de vida do gerenciamento de projetos e seus processos (PMI, 2008). Além dos padrões que estabelecem diretrizes para processos, ferramentas e técnicas de gerenciamento de projetos, o PMBOK também provê um Código de Ética e Conduta Profissional para orientar praticantes de gerenciamento de projetos (PMI, 2008).

O Gerenciamento de projetos é realizado através da aplicação e integração apropriada de 42 processos agrupados logicamente e abrangendo cinco grupos (PMI, 2008):

- Iniciação: envolve processos realizados para definir um novo projeto ou uma nova fase de um projeto existente através da obtenção de autorização para iniciar o projeto ou a fase;
- Planejamento: diz respeito aos processos realizados para definir o escopo do projeto, refinar os objetivos e desenvolver o curso de ação necessário para alcançar os objetivos para os quais o projeto foi criado;
- Execução: são os processos realizados para executar o trabalho definido no plano de gerenciamento do projeto para satisfazer as especificações do mesmo;
- Monitoramento e Controle: são os processos necessários para acompanhar, revisar e regular o progresso e o desempenho do projeto, identificar todas as áreas nas quais serão necessárias mudanças no plano e iniciar as mudanças correspondentes;
- Encerramento: processos executados para finalizar todas as atividades de todos os grupos de processos, visando encerrar formalmente o projeto ou a fase.

Cada um dos processos do PMBOK pertence a uma das suas áreas de conhecimento (PMI, 2008). Uma área de conhecimento é definida por seus requisitos de conhecimentos e descrita em termos dos processos que a compõem, suas práticas, entradas, saídas, ferramentas e técnicas (PMI, 2008). As nove áreas de gerenciamento de projeto são (PMI, 2008):

- Gerenciamento da integração do projeto: inclui os processos e as atividades necessárias para identificar, definir, combinar, unificar e coordenar os vários processos e atividades de gerenciamento do projeto dentro dos grupos de processos de gerenciamento do projeto;
- Gerenciamento do escopo do projeto: inclui os processos necessários para assegurar que o projeto inclua todo o trabalho necessário para que o projeto termine com êxito;
- Gerenciamento do tempo do projeto: inclui os processos necessários para estimar a duração do projeto e gerenciar seu término pontual;
- Gerenciamento dos custos do projeto: inclui os processos envolvidos em estimativas, orçamentos e controle de custos de modo que o projeto possa ser terminado dentro do orçamento aprovado;
- Gerenciamento da qualidade do projeto: inclui os processos e as atividades da organização executora que determinam as políticas de qualidade, os objetivos e responsabilidades de modo que o projeto satisfaça as necessidades para as quais foi empreendido;
- Gerenciamento dos recursos humanos do projeto: inclui os processos que organizam e gerenciam a equipe do projeto;
- Gerenciamento das comunicações do projeto: inclui os processos necessários para assegurar que as informações do projeto sejam geradas, coletadas, distribuídas, armazenadas, recuperadas e organizadas de maneira oportuna e apropriada;
- Gerenciamento dos riscos do projeto: inclui os processos relacionados com o planejamento, identificação, análise, elaboração de respostas, monitoramento e controle dos riscos em um projeto;
- Gerenciamento das aquisições do projeto: inclui os processos de compra ou aquisição de produtos, serviços ou resultados externos à equipe do projeto necessários para realizar o trabalho.

2.1.2 Prince2

O PRINCE2 (Projects in Controlled Environments Version 2 – Projetos em Ambientes Controlados Versão 2) foi inicialmente desenvolvido pelo governo da Inglaterra como sendo uma abordagem padrão para gerenciamento de projetos de tecnologia da informação (OGC, 2011). Com o passar do tempo, o método foi melhorado para tornar-se um método genérico de gerenciamento de projetos aplicável a projetos de qualquer natureza. PRINCE2 é um método de gerência de projetos genérico cobrindo como organizar, gerenciar e controlar o projeto (OGC, 2011). Tem como objetivo permitir a entrega dos produtos no prazo, dentro do orçamento e com qualidade, ajudando a gerenciar o risco, controlar a qualidade e mudanças (OGC, 2011). O foco do PRINCE2 é no caso de negócio, que descreve o racional e justificativa para o projeto e guia os processos de gerência de projeto do início ao fim (OGC, 2011).

O PRINCE2 é baseado em sete princípios (OGC, 2011):

- Adaptação para ambientes específicos de desenvolvimento
- Justificativa de negócio
- Lições aprendidas
- Funções e responsabilidades
- Gerenciamento por etapas
- Gerenciamento por exceção
- Focado no produto

A abordagem para entregar os sete princípios está em sete temas (OGC, 2011):

- Caso de negócio
- Organização
- Qualidade
- Planos
- Riscos
- Mudanças
- Progresso

O PRINCE2 adota seis processos (OGC, 2011):

- Organização do projeto

- Direção do projeto
- Iniciação do projeto
- Controle de etapa
- Gerenciamento dos limites da etapa
- Fechamento do projeto

2.1.3 Rup

Enquanto as demais abordagens para gerência de projetos apresentadas anteriormente são genéricas e servem para qualquer tipo de projeto, o RUP (Rational Unified Process) é uma abordagem específica para desenvolvimento de projetos de software. O RUP adota um modelo iterativo de desenvolvimento, com foco na arquitetura e orientada ao caso de uso tendo como princípios (KROLL, KRUCHTEN, 2003):

- Atacar os riscos cedo e continuamente
- Garantir que seja entregue valor ao cliente
- Manter-se focado em software executável
- Acomodar mudança cedo no desenvolvimento
- Definir uma arquitetura cedo no tempo
- Desenvolver o software de forma componentizada
- Trabalhar como uma única equipe
- Fazer da qualidade uma forma de vida

Ao contrário do modelo tradicional de desenvolvimento em cascata em que o projeto é executado numa sequência sendo primeiramente definição de requisitos, depois análise, *design*, implementação e por fim teste, o RUP adota um modelo iterativo de desenvolvimento (KROLL, KRUCHTEN, 2003). No modelo iterativo, cada iteração compreende a maioria das disciplinas de desenvolvimento (requisitos, análise, *design*, implementação e teste) (KROLL, KRUCHTEN, 2003). Cada iteração tem um conjunto de objetivos pré-definidos e produz uma parte da versão final do sistema construído com base no que foi desenvolvido na iteração anterior (KROLL, KRUCHTEN, 2003). Iterações iniciais dão ênfase maior em requisitos, análise e *design* e iterações posteriores dão maior ênfase a implementação e teste (KROLL, KRUCHTEN, 2003).

Uma das principais vantagens do modelo iterativo em relação ao modelo cascata de desenvolvimento é que não há uma única entrega ao final, mas sim diversas entregas ao longo do tempo permitindo a revisão dos entregáveis ao longo do projeto (KROLL, KRUCHTEN, 2003). Isto por consequência facilita o gerenciamento de riscos, reduz a quantidade de re-trabalho, facilita o re-uso, aprendizado da equipe ao longo do caminho, correção de defeitos durante as iterações e melhoria dos processos de desenvolvimento ao longo do tempo (KROLL, KRUCHTEN, 2003). O RUP divide o projeto em quatro fases (KROLL, KRUCHTEN, 2003):

- a) Concepção: tem por objetivo entender o escopo do projeto, construir um caso de negócio e obter o aceite das partes interessadas para que se inicie o projeto;
- b) Elaboração: tem por objetivo mitigar os principais riscos técnicos, criar uma arquitetura base e entender o que é necessário para construir o software;
- c) Construção: tem por finalidade construir a primeira versão operacional do software;
- d) Transição: tem por finalidade construir a versão final do sistema e entregá-la ao cliente.

2.1.4 Métodos Ágeis

Nos últimos anos, têm ganhado destaque no meio dos projetos de software, as chamadas metodologias ágeis. Mesmo que muitas de suas práticas já viessem sendo adotadas anos antes, o movimento ágil oficialmente iniciou com a criação do Manifesto Ágil em Fevereiro de 2001 (COHN, 2006). Este manifesto foi escrito e assinado por dezessete pessoas dando um nome a como estavam desenvolvendo software resultando em uma lista de valores e princípios (COHN, 2006). A razão do encontro era verificar se existia algo em comum entre as diversas metodologias, entre elas: Adaptive Software Development, Extreme Programming (XP), Scrum, Crystal, Feature-Driven Development, Dynamic System Development Method (DSDM) e Pragmatic Programming (COCKBURN, 2007). No Manifesto Ágil os autores afirmam que passam a valorar (BECK et al., 2001):

- Indivíduos e interações mais que processos e ferramentas;
- Software em funcionamento mais que documentação abrangente;
- Colaboração com o cliente mais que negociação de contratos;
- Responder a mudanças mais que seguir um plano.

Equipes de desenvolvimento ágil valorizam a resposta a mudança acima do seguimento de um plano porque seu foco está em entregar o maior valor possível para os clientes e usuários dos projetos (COHN, 2006). Algumas das principais metodologias que adotam os princípios Ágeis são:

- Extreme Programming (XP): é uma metodologia leve para equipes de tamanho pequeno a médio desenvolvendo software em condições de requisitos vagos ou em constante mudança (BECK, 2000). Adota abordagem incremental com ciclos curtos de desenvolvimento, respondendo a necessidades de mudanças do negócio (BECK, 2000). Testes automatizados são escritos por programadores e clientes para monitorar o progresso do desenvolvimento e encontrar defeitos cedo no tempo (BECK, 2000). Comunicação verbal, testes e código fonte são utilizados para comunicar a intenção e estrutura do sistema (BECK, 2000);
- Scrum: apropriado para gerenciamento de projetos complexos, usado em situações em que não é possível prever tudo o que deverá ocorrer (SCHWABER, 2004). O Scrum oferece um *framework* e conjunto de práticas para manter tudo visível, controlando o processo de desenvolvimento de software para guiar o trabalho em direção do resultado de maior valor possível (SCHWABER, 2004). O Scrum endereça a complexidade do desenvolvimento de projetos baseado em três pilares do controle de processo empírico: visibilidade, inspeção e adaptação (SCHWABER, 2004). O Scrum evita dizer como a equipe deve desenvolver o software, mas sim, assume que as pessoas são maduras a ponto de assumir responsabilidade pelo seu trabalho e resolver os problemas (COCKBURN, 2007).

Estudo mostra que a eficiência de responsividade proposta pelos métodos ágeis afeta positivamente a entrega dos projetos no prazo e custo (esforço) estabelecido (LEE, XIA, 2010). O estudo ainda mostra que a restrição de tempo e custo é muitas vezes o principal fator determinante de até onde a equipe que adota metodologia ágil responde a mudanças de requisitos (LEE, XIA, 2010).

2.2 ESTIMATIVA NA GESTÃO DE PROJETOS DE SOFTWARE

Na seção 2.1.1 foi visto que um dos processos que compõe as áreas de conhecimento do PMBOK Gerenciamento do Tempo e Gerenciamento de Custos é o processo de estimativa de tempo e custos. Estudos relatam que estimativas de projetos de software constantemente resultam em erro de 100% ou mais (MCCONELL, 2006). Em uma pesquisa com gerentes de sistemas de informação em mais de 100 organizações, foi descoberto que apenas um em cada quatro projetos é concluído dentro do orçamento estimado (LEDERER, PRASAD, 1995). Na indústria de software são consideradas acuradas estimativas com erro menor que 25% (MORGENSHTERN, RAZ, DVIR, 2006; KOTEN, GRAY, 2006). Autores afirmam que uma margem de erro de estimativa entre -10% e +10% para a data de conclusão de um projeto é possível, mas apenas em projetos altamente controlados (JONES apud MCCONELL, 2006).

Existem dois tipos de erro de estimativa. A sub-estimativa que é quando o resultado excede o estimado e a super-estimativa que é quando o resultado fica abaixo do estimado (MCCONELL, 2006). Para o autor, a indústria de software tem um problema de sub-estimativa e antes de tentar ter estimativas mais precisas, precisa começar a fazer estimativas mais altas. É importante também que se faça uma distinção entre precisão e acurácia da estimativa. Um número pode ser preciso sem ser acurado. Precisão é o quão específica é a medida, enquanto que acurácia refere-se ao quão perto da realidade é a estimativa (BERKUN, 2005). Por exemplo, uma estimativa de uma semana para fazer um trabalho é precisa. Seria imprecisa se fosse dito que o trabalho irá levar entre uma e quatro semanas. Porém, se ao final do trabalho, constatar-se que foram necessárias duas semanas para concluí-lo em vez da uma semana estimada, a estimativa embora tenha sido precisa não foi acurada.

O Cone da Incerteza (Figura 1) mostra que durante a fase inicial do projeto, uma estimativa de duração do projeto pode ter um erro entre um quarto e quatro vezes à estimativa (MCCONELL, 2006). Ou seja, um projeto estimado em 12 meses pode levar qualquer coisa entre 3 e 48 meses. Este intervalo deriva de um alto nível de incerteza que existe nesse momento sobre a natureza do produto (BOHEM, 1981). Estas questões são resolvidas no momento em que se tem uma especificação de requisitos, momento em que será possível estimar os custos do software com fator de 1,5 em qualquer das direções (BOEHM, 1981). No momento que se conclui e valida o *design*, a acurácia da estimativa pode chegar a 1,25x (BOEHM, 1981). Por fim, haverá uma incerteza residual de 10% ao fim da fase detalhada de *design* baseada no quanto os desenvolvedores entendem as especificações que efetivamente devem codificar (BOEHM, 1981). McConell (2006) corrobora com Bohem em que

estimativas criadas em fases finais do projeto tendem a ser mais acuradas em relação a estimativas criadas no início do projeto. Berkun (2005) analisa o Cone da Incerteza constatando que até que os requisitos sejam bem entendidos e um *design* de alto nível seja feito, existe muito pouca informação para que se possa fazer uma previsão realista. A acurácia da estimativa melhora a medida do tempo e boas estimativas advêm de bons *designs* e requisitos (BERKUN, 2005). Estimativa deve ser um processo contínuo melhorado ao longo do Ciclo de Desenvolvimento do Projeto através de atualizações constantes de dados coletados de atividades de monitoramento e controle (ABDEL-HAMID, 1993).

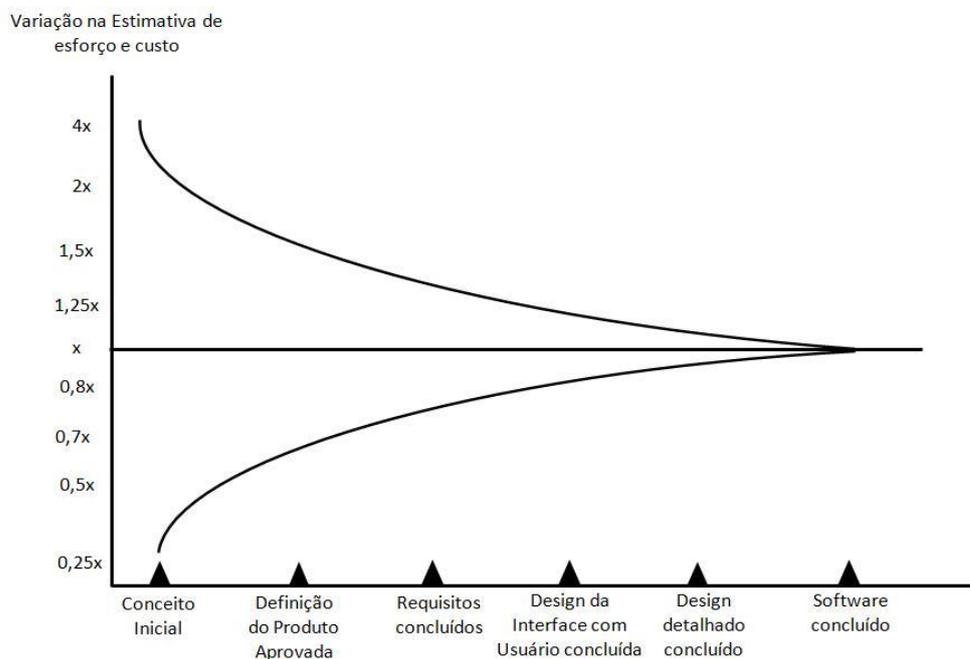


Figura 1 – Cone da Incerteza
Fonte: MCCONELL (2006)

O fato é que todas as estimativas de projetos envolvem pressuposições, incertezas e percepções de riscos (PMI, 2011). Portanto, o nível de confiança nas estimativas é diretamente relacionado à definição da atividade e informação disponível (PMI, 2011). Com o progresso do projeto, as estimativas devem ser refinadas à medida que mais informações estejam disponíveis, tornando o processo de estimativa iterativo e evolutivo (PMI, 2011). A adoção desse conceito de elaboração progressiva traz por consequência estimativas mais acuradas ao longo do tempo (PMI, 2011).

2.2.1 Medidas de Tamanho de Software

Muitas das técnicas de estimativa são baseadas no tamanho do software, que pode adotar diferentes unidades de medida como:

- SLOCs (*Source Lines of Code* – Linhas de Código Fonte): É a medida mais antiga de tamanho de software e mede o tamanho pelo número total de linhas de código fonte escritas (BOHEM, 1981; MCCONELL, 2006; PUTNAM, MYERS, 2007; JONES, 2007).
- Pontos de Função: A técnica quantifica as funções existentes em um software (IFPUG, 2011). Cada função recebe um índice numérico de acordo com o seu tipo e complexidade (IFPUG, 2011). Estes índices são totalizados e normalizados incorporando uma série de outros fatores de forma a calcular a medida de tamanho do software como um todo (IFPUG, 2011). Ao fim, o resultado é uma medida única em número de pontos de função que permite avaliar o tamanho e complexidade do produto (IFPUG, 2011). A métrica é baseada em cinco atributos de aplicações de software: entradas, saídas, consultas, arquivos lógicos e interfaces (JONES, 2007).
- Pontos de Caso de Uso: Utilizado para medir casos de uso. Os casos de uso são uma técnica de documentação de requisitos e especificações de usuário em projetos de software (JONES, 2007). Os pontos de caso de uso acumulam o número total de atores, relacionamentos e outros aspectos da metodologia de casos de uso para determinar o tamanho do projeto em pontos de caso de uso (JONES, 2007).
- Story points: Medida de tamanho adotada em projetos que utilizam a Metodologia Ágil de desenvolvimento e documentam requisitos por meio de user stories (COHN, 2006). Os story points são uma medida relativa de tamanho (COHN, 2006). Recebem valores como 1, 2, 3, 5, 8, 13 e 20, por exemplo, sendo que quanto mais complexa for a user story e maior for o esforço para desenvolvê-la, maior é o número de pontos de tamanho atribuídos a user story (COHN, 2006).

2.2.2 Técnicas de Estimativa

Existem diversas técnicas de estimativa de esforço e duração empregadas em projetos de software. As técnicas são divididas em duas categorias, que são (i) baseadas em modelos e (ii) opinião especializada (JØRGENSEN, 2002). Pesquisas publicadas sobre práticas de estimativa sugerem que a opinião especializada é a estratégia dominante (60% a 85% dos casos) (MCCONELL, 2006). No que tange ao resultado dos modelos de estimativa em comparação com a opinião especializada, Jørgensen (2002) afirma não haver evidências substanciais de que o uso de modelos resulte em estimativas mais acuradas. Já Jones (2007) afirma que os modelos apresentam melhores resultados que a opinião especializada. Para outros autores nenhuma técnica é a melhor para todas as situações, uma comparação entre resultados de diversas abordagens mais provavelmente produzirá estimativas realistas (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000).

Algumas das técnicas servem ao processo de estimativa de esforço, outras ao processo de estimativa de duração e outras contribuem para a estimativa de ambos. McConell (2006) sugere o uso da opinião especializada principalmente em fases mais adiantadas do projeto. Em fases iniciais, especialmente em projetos de grande porte, o autor sugere que sejam utilizadas técnicas de estimativa em nível macro como analogia com projetos já executados, algoritmos e softwares de estimativas, passando para abordagens *bottom-up* baseadas em estimativas individuais a medida do progresso do projeto.

2.2.2.1 Técnicas baseadas em modelos paramétricos

Os modelos paramétricos envolvem o uso de equações matemáticas para realizar as estimativas. As equações são baseadas em parâmetros de entrada por parte do usuário e que influenciam na estimativa do projeto, como por exemplo, tamanho do projeto e experiência da equipe envolvida. Os parâmetros são submetidos aos algoritmos de cálculo da equação do modelo gerando a estimativa como resultado. Os modelos geralmente utilizam valores padrão para alguns dos parâmetros sendo que se recomenda que esses valores sejam calibrados para a realidade dos projetos sendo estimados, pois muitos dos modelos são desenvolvidos e calibrados para situações específicas (NASA, 1995). Um tipo de parâmetro que merece calibração, por exemplo, é o custo da hora de trabalho, pois este parâmetro é utilizado para estimativa do custo total do projeto (NASA, 1995). O ato da calibração é necessário para aumentar a acurácia do modelo de forma a torná-lo temporariamente específico para o projeto

para o qual foi calibrado (NASA, 1995). A maior parte das técnicas de estimativa empregadas nos modelos paramétricos são técnicas estatísticas. Algumas das técnicas utilizadas são:

- Modelos de regressão (ex. método dos mínimos quadrados): Diversos modelos de estimativa como, por exemplo, COCOMO II, SLIM e Checkpoint utilizam técnicas de regressão em função da sua simplicidade e ampla aceitação (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000).
- Bayesiana: é uma alternativa a modelos de regressão pura que combina os pontos fortes da opinião especializada com modelos de regressão para produzir um modelo mais robusto (BOHEM, 1999). É baseada no teorema de Bayes permitindo produzir estimativas baseadas em parâmetros de entrada (BOHEM, SULLIVAN, 1999). Técnicas estatísticas tradicionais derivam conclusões baseadas nos dados disponíveis (BOHEM, SULLIVAN, 1999). O modelo Bayesiano tenta reduzir os riscos associados a dados incompletos incorporando dados anteriores que não estão disponíveis na amostra (BOHEM, SULLIVAN, 1999). Estudos constataram que o modelo Bayesiano mostrou-se bastante acurado (KOTEN, GRAY, 2006). Neste estudo o erro de estimativa de esforço foi de 14,8% o que satisfaz o critério de que um modelo acurado (índice de erro menor que 25%) (KOTEN, GRAY, 2006).
- Redes neurais: O trabalho em redes neurais artificiais, usualmente denominadas "redes neurais" é motivado pelo reconhecimento de que o cérebro humano processa informações de forma inteiramente diferente do computador digital convencional por ser altamente complexo, não-linear e paralelo (HAYKIN, 2001). As redes neurais empregam uma interligação maciça de células computacionais simples denominadas "neurônios" (HAYKIN, 2001). Em projetos de software, as redes neurais são "treinadas", usando dados históricos de projetos, a produzir melhores resultados automaticamente ajustando os valores dos parâmetros dos algoritmos de forma a reduzir o delta entre valores conhecidos e previsões (BOHEM, SULLIVAN, 1999). Três entidades principais atuam no processo: os neurônios (nodos), a estrutura de intercomunicação e o algoritmo de aprendizado (ATTARZADEH, OW, 2010). Estudo reportou bons resultados para o uso do método de redes neurais que pode estimar o esforço de desenvolvimento dentro de uma margem de erro de 25% em mais de 75% dos casos (WITTIG, FINNIE, 1997). Porém, sugere-se cautela no uso do modelo já que uma grande quantidade de projetos precisaria fazer parte da base de dados histórica para servir ao processo estatístico do modelo (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000).

- Analogia: Pesquisas apontam que custos acima do estimado estão associados à falta de informação documentada sobre trabalhos anteriores e alta confiança na memória pessoal (LEDERER, PRASAD apud JØRGENSEN, 2002). Na estimativa por analogia, também conhecida por *Case-based reasoning*, aprende-se quais os casos entre uma amostra de projetos melhor se adaptam as características do domínio da aplicação a ser desenvolvida, por exemplo, comércio eletrônico, controle de tráfego etc. (BOHEM, SULLIVAN, 1999; MCDONELL, SHEPPERD, 2003). Então utiliza as características dessa amostra de projetos para estimar o novo projeto (BOHEM, SULLIVAN, 1999). Estima o projeto por meio de analogia com projetos anteriores que sejam considerados semelhantes. Lewis (2007) também sugere o uso de dados históricos como fonte principal de informação para o processo de estimativa. PMI (2011) sugere que analogia com projetos anteriores deve ser usada para desenvolver estimativas iniciais do projeto com baixo nível de confiança. São estimativas preliminares por ordem de magnitude (PMI, 2011). Pesquisa com 275 projetos comparou o resultado obtido por estimativas baseadas em analogia com estimativas baseadas em modelos de regressão (SHEPPERD, SCHOFIELD, 1997). O resultado da pesquisa sugeriu que o desempenho da estimativa por analogia apresentou menores índices de erro em todos os casos mensurados (SHEPPERD, SCHOFIELD, 1997). Na estimativa por analogia, a falta de dados históricos é um dos fatores que pode ter influência substancial na acurácia das estimativas (LEDERER et al. apud MORGENSHTERN, RAZ, DVIR, 2006).

Alguns dos modelos paramétricos para estimativa de projetos de software mais conhecidos são:

- COCOMO II (Constructive Cost Model II): é um modelo que permite estimar custo, esforço e duração do projeto (USC CSSE, 2011). É baseado em pontos de função ou linhas de código como medida de tamanho e consiste em três sub-modelos (*Early Design*, *Applications Composition* e *Post-Architecture*) cada um oferecendo maior fidelidade à medida que o projeto progride no processo de planejamento e *design* (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000). A fórmula de cálculo do modelo é baseada em diversos fatores de escala e fatores multiplicadores.

- SLIM (Software Life Cycle Model): permite estimar tempo, esforço e custo necessário para entregar um dado conjunto de requisitos (QSM, 2011). O modelo é proprietário e implementado na ferramenta de mesmo nome comercializada pela empresa QSM (Quantitative Software Management). Faz uso da curva Rayleigh para estimar o esforço, cronograma e taxa de defeitos do projeto (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000). Um índice de força de trabalho e uma constante de tecnologia ou fator de produtividade são usados para influenciar a forma da curva (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000). Pode utilizar dados de projetos anteriores para calibrar o modelo sendo que se os dados não estiverem disponíveis, um conjunto de questões pode ser respondido para obter os valores (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000).
- Checkpoint / SPQR/20: Checkpoint é um modelo proprietário e comercializado em ferramentas da empresa SPR (Software Productivity Research) (SPR, 2011). Possui um banco de dados com milhares de projetos e utiliza pontos de função ou pontos de funcionalidade (*feature points*) como dado de entrada sobre o tamanho do projeto (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000). Estima esforço em quatro níveis de granularidade: projeto, fase, atividade e tarefa (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000). Estudo aponta que o modelo calibrado com dados do contexto melhora significativamente a acurácia das estimativas sendo que em alguns casos erro de estimativa chegou a apenas 1,8%, embora em outros tenha sido de 60% (MERTES, 1996). Checkpoint é uma evolução do modelo SPQR/20 (Software productivity, quality and reliability) (GOOF, 1999; JONES, 2007).
- PRICE-S (Parametric Review of Information for Costing and Evaluation – Software): foi originalmente utilizado em projetos da NASA e do governo norte-americano (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000). Atualmente é comercializado pela empresa Price Systems na ferramenta True S que é parte da *suite* True Planning (PRICE SYSTEMS, 2002).
- SEER-SEM (System Evaluation and Estimation of Resources – Software Estimating Model): permite estimar custo, equipe, cronograma, confiabilidade e riscos do projeto como função do tamanho, tecnologia e restrições do projeto (SEER, 2011). As equações do modelo são proprietárias e o modelo é implementado em uma ferramenta de mesmo nome comercializada pela empresa SEER (SEER, 2011). Suporta estimativa *top-down* e *bottom-up*, cobrindo todas as

fases do projeto: *design*, desenvolvimento, entrega e manutenção (BOEHM, ABTS, CHULANI, 2000).

2.2.2.2 Técnicas de opinião especializada

Técnicas de opinião especializada envolvem consultar um ou mais especialistas, que usam a sua experiência e conhecimento para chegar a uma estimativa (BOEHM, 1981). A desvantagem da técnica é que a estimativa é apenas tão boa quanto à opinião do especialista, pois anos de experiência não necessariamente se traduzem em altos níveis de competência (BOEHM, ABTS e CHULANI, 2000). Além disso, mesmo o mais competente dos indivíduos às vezes estimará incorretamente (BOEHM, ABTS e CHULANI, 2000). Kerzner (2009) sugere a utilização de manuais de estimativa para guiar o processo nos casos de tarefas repetitivas ou similares que possam usar estimativas anteriores ajustadas.

- Revisão em grupo: As revisões em grupo são especialmente úteis quando estimando em fase inicial do projeto ou atividades pouco conhecidas (MCCONELL, 2006). Para Lewis (2007) e McConell (2006) o processo funciona da seguinte forma: (a) as pessoas estimam cada atividade do projeto da qual possuem conhecimento sem se comunicar uns com os outros. (b) Reúnem-se e revisam as estimativas de cada um, discutem os motivos das discrepâncias entre eles e revisam suas estimativas até chegarem a uma estimativa em consenso. Para Lewis (2007), existem três vantagens nesta prática. A primeira é que nenhuma das pessoas é responsabilizada sozinha pela estimativa. A segunda é que estimadores inexperientes podem aprender com os mais experientes. A terceira é que numa análise em conjunto provavelmente irão considerar mais aspectos relevantes para a estimativa do que se estimassem sozinhos. Jørgensen (2002) relatou a existência de pesquisas que constataram que as revisões em grupo proporcionaram maior acurácia à estimativa enquanto que outras pesquisas constataram que a média simples das estimativas funciona melhor.
- Delphi: em função dos diversos vieses possíveis de especialistas estimando individualmente (otimista, pessimista, desejo de ganhar o trabalho, desejo de agradar, motivações políticas entre outros), é preferível obter estimativas de mais de um especialista (BOEHM, 1981). Se as estimativas são obtidas de diversos especialistas, existem diferentes formas de combinar os resultados. Uma é

simplesmente calcular a média ou mediana das estimativas individuais (BOHEM, 1981). Este é um método rápido, mas sujeito a vieses de uma ou duas estimativas extremas (BOHEM, 1981). Outra forma é realizar uma reunião entre os especialistas para que discutam sobre a estimativa até chegarem a um consenso (BOHEM, 1981). A vantagem do método é filtrar estimativas muito disformes (BOHEM, 1981). Por outro lado, a desvantagem é que membros do grupo podem ser influenciados por membros mais assertivos, de maior autoridade ou maior influência política (BOHEM, 1981). Segundo o autor, a técnica Delphi resolve essas questões utilizando o seguinte processo: a) Coordenador apresenta a cada especialista a especificação e uma forma de registrar as estimativas; b) Especialistas preenchem o formulário anonimamente podendo fazer perguntas ao coordenador, mas não interagir sobre o assunto com demais estimadores; c) Coordenador prepara um resumo das respostas, distribui para os especialistas e solicita novas estimativas juntamente com o seu racional; d) Especialistas preenchem o formulário novamente de forma anônima e o processo é iterado por quantas vezes necessário; e) Não pode haver discussão em grupo durante o processo. O método Delphi tem sido amplamente utilizado no mundo dos negócios para realizar atividades de previsão (WIKKIPEDIA, 2010).

- Wideband Delphi: Segundo Bohem (1981), o método Delphi não proporciona uma comunicação adequada entre os estimadores para calibrar suas estimativas. Com o objetivo de combinar a vantagem das discussões das reuniões em grupo com as vantagens da estimativa anônima, foi desenvolvido o método Wideband Delphi (BOHEM, 1981). O Wideband Delphi adota o mesmo procedimento do método Delphi, adicionando a possibilidade de discussão em grupo (BOHEM, 1981). McConell (2006) reporta que seus estudos sugerem que o Wideband Delphi reduz o erro de estimativa em aproximadamente 40% comparando com as revisões em grupo. Por outro lado, o Wideband Delphi ocupa muito tempo da equipe tornando o processo de estimativa caro (MCCONELL, 2006). A técnica não é apropriada para estimativas de tarefas detalhadas, mas sim para estimativa de trabalho em novas áreas de negócio, novas tecnologias ou em um novo tipo de software sendo uma técnica apropriada para criar estimativas em ordem de magnitude (MCCONELL, 2006).
- Decomposição e Recomposição (WBS Top-Down / Bottom-Up): A WBS (*Work Breakdown Structure*) é a subdivisão das entregas e do trabalho do projeto em

componentes menores e de gerenciamento mais fácil (PMI, 2008). A WBS organiza e define o escopo total e representa o trabalho especificado na declaração do escopo do projeto aprovada (PMI, 2008). Decomposição é a prática de separar uma estimativa em múltiplas partes, estimar cada parte individualmente e então recombinar as estimativas individuais em uma estimativa agregada (MCCONELL, 2006). As estimativas adotam uma relação *top-down* ou *bottom-up* com a WBS (KERZNER, 2009). Estimativas *top-down* são aquelas em que uma estimativa geral para o projeto é derivada das propriedades gerais, então a estimativa total é dividida entre os diversos níveis de componente (BOEHM, 1981). Já nas estimativas *bottom-up* cada componente de trabalho é estimado separadamente e os resultados são agregados para formar a estimativa total de trabalho (BOEHM, 1981). De acordo com PMI (2011), o uso de estimativas *bottom-up* (recomposição) é a forma mais confiável para obter estimativas do projeto. Pré-requisito para recomposição é a disponibilidade de uma WBS detalhada (PMI, 2011).

- PERT (Program Evaluation and Review Technique): também conhecida como estimativa de três pontos, baseia-se em três estimativas: Mais provável (Tm), Otimista (To) e Pessimista (Tp) (PMI, 2008). A análise PERT calcula a duração Esperada da atividade (Te) usando uma média ponderada dessas três estimativas (PMI, 2008): $Te = (To + 4Tm + Tp) / 6$. Para Berkun (2005), PERT é uma boa técnica para estimativas por dois motivos. Primeiro, pois força todos a perceberem que estimativas são previsões e existe uma faixa de resultados possíveis. Segundo, pois dá chance ao gerente de projeto calibrar o quão agressivo ou conservador é o cronograma.
- *Checklists*: estudos sobre estimativa em uma variedade de disciplinas descobriram que o simples uso de *checklists* ajuda a melhorar a acurácia da estimativa lembrando-as de considerações que de outra forma esqueceriam (MCCONELL, 2006). O *checklist* pode conter questões como: (a) o que está sendo estimado está claramente definido? (b) a estimativa contém todos os tipos de trabalho necessários para concluir a tarefa? (c) a estimativa foi aprovada por quem de fato fará o trabalho? (MCCONELL, 2006). Para Kerzner (2009), a adoção de *checklists* relatando o trabalho que precisa ser feito para estimar contribui para maior acurácia de estimativa. Existem evidências que *checklists* de estimativas podem trazer novos estimadores rapidamente para o nível de especialista, sendo que

muitas organizações consideram os *checklists* como uma das suas principais ferramentas de estimativa (JØRGENSEN 2002).

- Planning Poker: é uma técnica de estimativa utilizada em projetos que empregam a Metodologia Ágil de desenvolvimento e têm por objetivo estimar o tamanho das user stories a serem desenvolvidas no projeto (COHN, 2006). Nesta técnica, o objetivo é que os estimadores entrem em consenso quanto ao tamanho das user stories a serem desenvolvidas (COHN, 2006). As medidas de tamanho obtidas no processo de planning poker são então submetidas a uma estimativa de velocidade da equipe de forma a projetar quando será possível entregar o projeto (COHN, 2006). A velocidade é uma medida de produtividade que diz a quantidade de story points que a equipe de projeto consegue entregar por iteração (COHN, 2006).

2.2.3 Boas Práticas de Estimativa

Existem algumas boas práticas de estimativa que podem ser aplicadas a maior parte das técnicas. Lewis (2007) propõe algumas orientações para o processo de estimativa:

- Apresentar o percentual de tolerância aplicado. Por exemplo, margem de erro da estimativa pode variar em mais ou menos 25%;
- Informar como a estimativa foi feita e quais os pressupostos adotados;
- Especificar os fatores que podem afetar a validade da estimativa;
- Registrar o tempo de fato utilizado para fazer a tarefa e utilizar esta informação para estimativas futuras. Por exemplo, alguém que corre um determinado percurso e não registra o tempo levado, nunca saberá quanto tempo estimar e o quanto poderá objetivar melhorar da próxima vez que realizar o mesmo percurso;
- Lembrar que uma estimativa não é exata, mas sim uma suposição.

Boehm (1981) propõe sete passos para estimativa:

- a) Estabelecer objetivos;
- b) Planejar dados necessários e recursos;
- c) Definir requisitos;
- d) Detalhar o máximo possível;
- e) Usar técnicas e fontes diferentes;
- f) Comparar e iterar estimativas;

g) Acompanhar o progresso comparando a estimativa versus realizado.

Jørgensen (2005) sugere as seguintes melhores práticas para reduzir o erro de estimativa:

- Trabalhar com mais de uma estimativa (estimativa mais provável com nível de confiança de 50%, estimativa com nível de confiança de 80%);
- Utilizar estimativas diferentes dependendo da necessidade. Por exemplo, a estimativa para planejamento pode ser diferente da estimativa fornecida ao cliente (*price-to-win*);
- Não fornecer ao estimador as estimativas do cliente;
- A estimativa deve ser justificada e a justificativa revisada;
- Dar retorno ao estimador sobre o resultado da estimativa.

Jørgensen (2002) sugere doze princípios para melhorar estimativas quando usando opinião especializada. Os princípios estão divididos em três categorias e são apresentados a seguir.

Princípios para reduzir o tamanho de vieses humanos e situacionais:

- Avaliar o erro de estimativa, porém evitar alta pressão no processo de avaliação;
- Evitar conflitos nos objetivos de estimativa (estimativa para proposta à cliente versus estimativa para planejamento versus estimativa de tempo mais provável para execução da tarefa);
- Pedir aos estimadores para justificar e criticar suas estimativas;
- Evitar informação irrelevante e não confiável;
- Usar dados documentados de tarefas de desenvolvimento anteriores;
- Encontrar estimadores com sólida base de conhecimento do domínio e bons registros de estimativa.

Princípios para suportar o processo de opinião especializada:

- Estimar ambos *top-down* e *bottom-up*, independentemente de cada um;
- Utilizar *checklists* de estimativas;
- Combinar estimativas de diferentes fontes;
- Avaliar a incerteza da estimativa.

Princípios de opinião e treinamento:

- Opinar sobre a acurácia da estimativa e relações entre as tarefas de desenvolvimento;
- Proporcionar oportunidades de treinamento em estimativas.

Segundo McConell (2006), estimativas são probabilidades e, portanto, devem ser expressas como tal. Por exemplo, em vez de informar que o projeto está estimado em 24 semanas, informar “*Temos 90% de confiança que o projeto levará 24 meses*” ou “*Estimamos que no melhor caso o projeto leve 18 semanas e no pior caso 24 semanas*” (MCCONELL, 2006). Bohem (1981) e Berkun (2005) corroboram com a prática também recomendando que cada estimativa inclua uma indicação do seu grau de incerteza. Para Berkun (2005), estimativas com um grau de confiança de 40% é uma adivinhação sendo que uma boa estimativa deve ter um grau de confiança de 70%. Sobre o grau de confiança, Kerzner (2009) sugere que o processo de estimativa seja feito por ordem de magnitude conforme as seguintes etapas e cuja acurácia é apresentada na Tabela 1:

- a) Estimativas de ordem de magnitude *top-down* normalmente aplicadas ao primeiro nível da WBS. Utilizam-se estimativas baseadas em modelos paramétricos;
- b) Estimativa aproximada: também é feita sem informação detalhada da engenharia. Utiliza informações de projetos similares em escopo (estimativa por analogia);
- c) Estimativa definitiva: preparada com base em dados de engenharia bem definidos como especificações e planos completos.

Método de estimativa	Tipo genérico	Relação com WBS	Acurácia	Tempo de preparo
Paramétrico	Ordem de magnitude	<i>Top-Down</i>	-25% à + 75%	Dias
Analogia	Orçamento	<i>Top-Down</i>	-10% à +25%	Semanas
Engenharia	Definitiva	<i>Bottom-Up</i>	-5% à +10%	Meses

Tabela 1 – Níveis de acurácia de estimativa
Fonte: KERZNER (2009)

McConell (2006) ainda propõe que no início do projeto seja publicado um cronograma de estimativas conforme Tabela 2 de forma a deixar claro qual o tipo de estimativa que será publicada a cada momento.

Fase do Projeto	Acurácia	Comentários
Concepção inicial	-75%, +300%	Apenas para uso interno do projeto
Definição do produto aprovada	-50%, +100%	Estimativa exploratória para uso interno da empresa
Requisitos e <i>design</i> concluídos	-20%, +25%	Estimativa para fins de orçamento
Primeira entrega	-10%, +10%	Estimativa preliminar refinada
Segunda entrega	-10%, +10%	Estimativa de compromisso preliminar
Terceira entrega	-10%, +10%	Estimativa final de compromisso
Entrega 4-X	-10%, +10%	Estimativas atualizadas apenas com mudanças forem aprovadas
Implementação concluída	-5%, +5%	Estimativas atualizadas apenas com mudanças forem aprovadas

Tabela 2 – Cronograma de Estimativas

Fonte: MCCONELL (2006)

2.2.4 Cálculo do Erro de Estimativa

Existem diversas formas de calcular o erro de estimativa. A mais amplamente utilizada é o MRE (*Magnitude of Relative Error*) que é obtida com a equação (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2005):

$$|x-y| / x \quad \text{Sendo } x \text{ o valor realizado e } y \text{ o valor estimado}$$

Muita embora o MRE seja a medida mais utilizada, apresenta infortúnios já que a sub-estimativa e super-estimativa apresentam pesos diferentes. Para ilustrar, apresenta-se o exemplo de Jørgensen e Moløkken-Østvold (2005): Dois projetos estimam o esforço necessário em 1.000 horas; projeto A acaba por investir 500 horas enquanto projeto B investe 2.000 horas; MRE para o projeto A é 1 enquanto o MRE para o projeto B é apenas 0.50. Como solução, os autores propõem a utilização do BRE (*Balanced Relative Error*) que é uma medida mais balanceada que levaria ao resultado de 1 para ambos os casos. Isto equivaleria a dizer que houve um erro de 100% no Projeto A (estimado foi o dobro do realizado) e 100% no Projeto B (realizado foi o dobro do estimado). O BRE é dado pela equação (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2005):

$$|x-y| / \text{menor}(x,y) \quad \text{Sendo } x \text{ o valor realizado e } y \text{ o valor estimado}$$

O termo “menor” da equação tem por objetivo mostrar que o menor valor entre os dois (x ou y) deve ser utilizado. Assim, se o valor realizado for menor que o valor estimado, o valor realizado deve constar no denominador. Por outro lado, se o valor estimado for menor que o realizado, o valor estimado deve constar no denominador.

Outras duas formas de calcular o erro de estimativa são derivadas das formas apresentadas anteriormente: MREbias e BREbias (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2005). Estas são utilizadas quando há interesse não apenas no cálculo da acurácia da estimativa, mas também no sentido do erro (super-estimativa ou sub-estimativa). Neste caso, o índice de erro pode assumir um valor negativo. O valor negativo indica que o estimado foi acima do realizado enquanto o valor positivo indica que o realizado foi acima do estimado.

MREbias:

$$(x-y) / x \quad \text{Sendo } x \text{ o valor realizado e } y \text{ o valor estimado}$$

BREbias:

$$(x-y) / \text{menor}(x,y) \quad \text{Sendo } x \text{ o valor realizado e } y \text{ o valor estimado}$$

2.2.5 Fatores Relacionados a Erros de Estimativa

A revisão de literatura permitiu identificar uma série de fatores relacionados ao erro de estimativa em projetos de software, conforme apresentado a seguir.

- Clareza dos objetivos: A probabilidade de acerto da estimativa deve ser maior em casos onde os objetivos do projeto são claramente entendidos pelas partes envolvidas com a responsabilidade de estimar o projeto (BERKUN, 2005; BOHEM, 1981).
- Detalhamento antecipado do planejamento: Um dos principais fatores que contribui para maior acurácia da estimativa é o planejamento em nível detalhado (atividades menores e mais curtas) (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). McConell (2006) ressalta que deve se considerar todas as

atividades nas estimativas do projeto, entre elas, reuniões, coordenação, treinamentos e férias. Já 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).

- 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).
- 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).
- Mapeamento do caminho crítico: O caminho crítico representa a sequência de atividades do cronograma que determina a duração total do projeto (PMI, 2008). Esta técnica de análise dispõe em sequência as atividades dependentes entre si para determinar a duração mínima total do projeto (PMI, 2008). As atividades do caminho crítico geralmente não possuem folga para atrasos, e se alguma atrasar, o projeto como um todo atrasará. 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.

- 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). Este fenômeno é tão comum em projetos de software que passou a ser um parâmetro padrão em ferramentas de estimativa (JONES, 2007). 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).
- 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).
- Reserva de planejamento (*buffer*): É importante considerar no processo de estimativa que podem surgir problemas inesperados ao longo do projeto (JØRGENSEN, GRUSCHKE, 2009). As reservas são uma provisão no plano do projeto para mitigar os riscos de custos e cronograma (PMI, 2008). Autores sugerem a inclusão de reservas para lidar com eventos inesperados e mudanças na especificação (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2004).
- 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.

- Uso de software 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 (MCONELL, 2006; JONES, 2007).
- 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).
- 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).
- 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.
- 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; GEFEN, WYSS, LICHTENSTEIN, 2008).
- 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).
- 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.

- Colaboração de parceiros: Problemas com terceiros representam uma importante causa para erros de estimativa (JØRGENSEN, MOLØKKEN-ØSTVOLD, 2005).
- 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; PMI, 2011).
- Vinculação a análise de desempenho: A desconsideração do erro de estimativa na avaliação de desempenho é um dos fatores indicados como de maior correlação com o erro de estimativa (LEDERER, PRASAD, 1995). Aumentos salariais e promoções advêm de boas avaliações nos processos formais de avaliação de desempenho dos funcionários. Possivelmente, isto explique o fato de que resultados mais aproximados do estimado acontecem com mais frequência quando o seu crescimento na organização depende justamente de um desempenho conforme o estimado.
- 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). A falta de disponibilidade de profissionais para iniciar as atividades nas datas planejadas pode atrasar o seu início e, dependendo do caso, atrasar também a data final do projeto.

- Rotatividade da equipe: A rotatividade da equipe de projeto é apontada como um dos fatores de impacto no erro de estimativa (LEDERER, PRASAD, 1995).
- Avaliação de riscos: A falha na avaliação de riscos representa fator de impacto na acurácia da estimativa (KERZNER, 2009). Para mitigar riscos de erro de estimativa podem ser adotadas reservas (*buffers*) a serem utilizadas no caso do andamento do projeto não ocorrer conforme o planejado (PMI, 2008).
- 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).
- 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).
- 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.
- 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).

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO 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 o pesquisador usa 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. A elaboração das hipóteses (Hs), definição dos fatores de análise (Fs) e questões do instrumento de pesquisa adotou caráter exploratório e qualitativo, de forma a ampliar o conhecimento sobre o problema enfrentado pelo pesquisador (MALHOTRA, 2006). A versão inicial das hipóteses, fatores (F), dimensões (D) e instrumento de pesquisa foram elaborados com base em uma revisão de literatura sobre o tema e posteriormente validados com especialistas.

3.2 DESENHO DE PESQUISA

O desenho de pesquisa possibilita ao pesquisador uma abordagem objetiva e confere uma ordem lógica ao trabalho (MARCONI e LAKATOS, 2003). Este trabalho foi desenvolvido seguindo as etapas demonstradas na Figura 2.

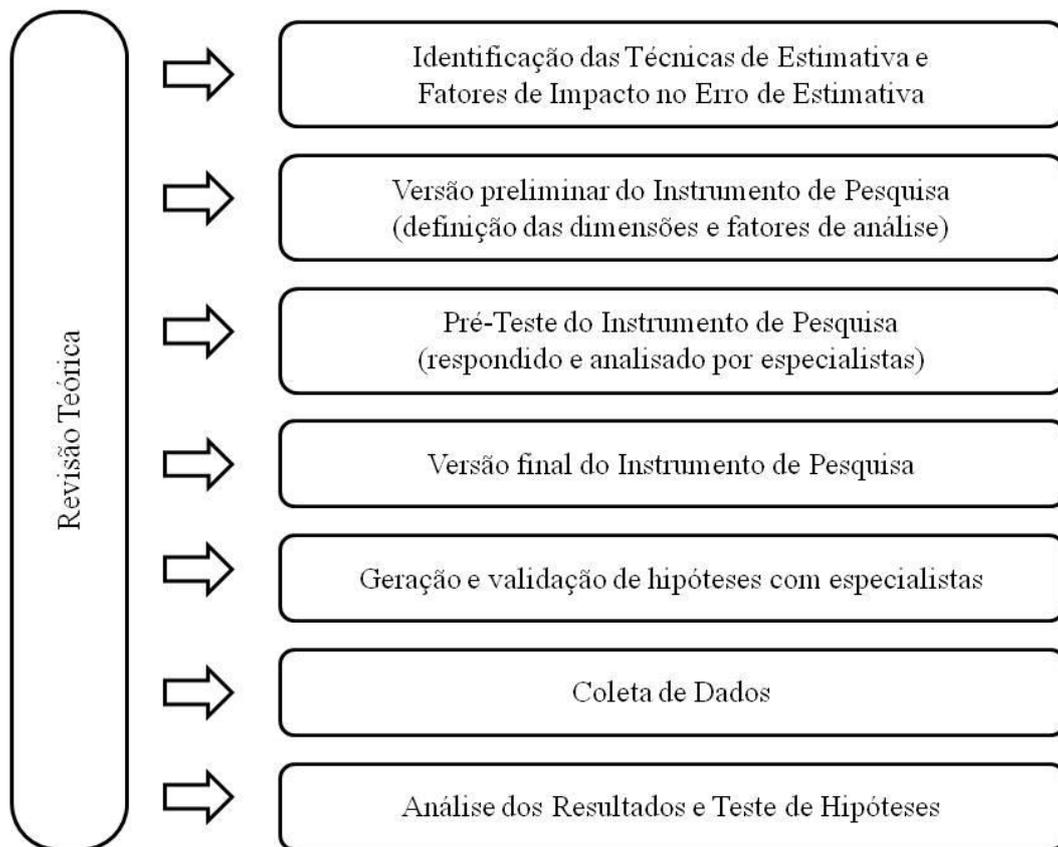


Figura 2 – Desenho de Pesquisa
 Fonte: O autor

3.3 ELABORAÇÃO DO INSTRUMENTO DE PESQUISA

Para o presente estudo elaborou-se um questionário estruturado de questões fechadas como instrumento de pesquisa. 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).

Para cálculo do erro de estimativa é utilizado o BRE (*Balanced Relative Error*) que é a forma mais indicada para cálculo do erro de estimativa (vide seção 2.2.4). Como o foco desta pesquisa é na acurácia da estimativa e não no sentido do erro, foi adotado BRE em vez de BREbias. 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:

- $EE = |\text{esforço realizado} - \text{esforço estimado}| / \text{menor}(\text{esforço realizado}, \text{esforço estimado})$
- $ED = |\text{duração realizada} - \text{duração estimada}| / \text{menor}(\text{duração realizada}, \text{duração estimada})$

Observa-se ainda que a pesquisa busca comparar a duração e esforço realizados com a estimativa gerada na fase de planejamento do projeto, independentemente se houve re-estimativas ao longo do projeto que tenham levado a uma repactuação com o cliente. Como mostra o Cone da Incerteza (seção 2.2) uma estimativa fornecida mais próxima do final do projeto tende a ser mais acurada em relação à estimativa fornecida no início.

3.3.1 Pré-Teste do Instrumento de Pesquisa

O pré-teste teve como objetivo coletar opinião de especialistas quanto à versão inicial do instrumento de forma a identificar melhorias necessárias para obtenção da versão final (COOPER, SCHINDLER, 2003). O pré-teste foi composto de duas etapas. Primeiramente foi solicitado aos especialistas que respondessem as questões do instrumento de pesquisa e, numa segunda etapa, provessem comentários sobre o instrumento no que tange a sua clareza, estrutura e conteúdo. O pré-teste foi aplicado a quatro profissionais, todos com mais de dez anos de experiência na gestão de projetos de software. A Tabela 3 apresenta o perfil dos participantes. Os quatro especialistas são funcionários do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Software da Hewlett-Packard localizado em Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

	Nível de Escolaridade	Tempo de Experiência Profissional
Especialista 1	Superior Completo	$\geq 10 < 15$ anos
Especialista 2	Superior Completo	≥ 15 anos < 25 anos
Especialista 3	Superior Completo	> 25 anos
Especialista 4	Superior Completo	$\geq 10 < 15$ anos

Tabela 3 – Perfil dos participantes

Fonte: O autor

Para participar na pesquisa os respondentes foram solicitados a escolher um projeto já concluído, no qual atuaram na função de gerente de projeto, respondendo às questões do instrumento. O instrumento de pesquisa foi elaborado em inglês de forma a permitir aplicação a projetos realizados no exterior. O fato do instrumento ter sido apresentado em inglês não representou problema para o pré-teste, dado que os quatro especialistas eram fluentes no idioma e trabalham diariamente comunicando-se em inglês nos projetos distribuídos globalmente em que atuam. A versão final do instrumento de pesquisa, considerando as sugestões dos especialistas mais mudanças propostas pelos autores, está presente no Anexo 1 deste trabalho. A seguir são apresentados os detalhes das entrevistas com os especialistas.

▪ Pré-Teste com Especialista 1

Após responder a pesquisa, a primeira observação do especialista foi de que os fatores do instrumento são indiretos para com as estimativas. Foi constatado um problema de clareza do instrumento, pois ao ser explicado pelo pesquisador que o interesse está no erro de estimativa, e não na sua elaboração, o especialista concluiu que, neste caso os fatores estavam corretos. Como solução foram adicionadas notas para que ficasse claro ao respondente. A segunda observação foi de capturar se o projeto havia sido cancelado ou concluído. Neste respeito, foi adicionada instrução de que o questionário fosse respondido apenas para projetos que não haviam sido cancelados, já que projetos cancelados não são de interesse da pesquisa, pois não é possível avaliar o erro de estimativa nestes casos. A terceira observação foi se a pergunta sobre o tamanho da organização referia-se a Brasil ou mundo. Como esta pergunta não era relevante para o estudo, a decisão foi excluí-la. A quarta sugestão foi utilizar a medida de esforço em horas em vez de mês já que esta é uma informação mais fácil de ser obtida. Foi constatada uma diferença de opinião em relação ao Especialista 2 que considerou a solicitação de um dado preciso sobre a duração e esforço de difícil acesso, sugerindo escalas intervalares pré-definidas. A opção foi por utilizar a unidade mês por estar em nível escalar intermediário, assim atendendo a maior parte dos casos. A quinta sugestão foi de adicionar uma explicação

ou referência externa sobre cada uma das técnicas de estimativa. Neste aspecto adotou-se como medida a simplificação do instrumento apresentando apenas dois grandes grupos de técnicas (“Expert Judgement (Opinião Especializada)” e “Parametric Models (Modelos Paramétricos)”) em vez de listá-las individualmente para facilitar o entendimento. A sexta sugestão foi de destacar em negrito os adjetivos e palavras com sentido negativo. A sugestão foi parcialmente adotada, tendo as palavras de sentido negativo sido destacadas em negrito, porém não os adjetivos para não poluir visualmente o instrumento. A última sugestão foi de deixar claro que as perguntas abertas eram sobre o erro de estimativa total do projeto, e não sobre tarefas individuais. Instruções foram adicionadas no instrumento para que este aspecto ficasse mais claro. O especialista concluiu apresentando entusiasmo com relação ao instrumento de pesquisa comentando estar bastante interessado em receber resultados da sua aplicação.

- Pré-Teste com Especialista 2

Após responder as questões do instrumento, a primeira observação do especialista foi sobre a dificuldade de obter a informação sobre os valores estimados e realizados de esforço e duração. Considerou a obtenção de um dado preciso sobre a duração e esforço investido no projeto de difícil acesso em função de não atuar mais como gerente de projetos, tendo sido movido para uma nova função na organização. Segundo o especialista, o público-alvo teria que ser Gerentes de Projeto da ativa, já que profissionais que deixaram a função dificilmente ainda teriam acesso a estes dados. A sugestão foi atendida, tratando gerentes de projeto da ativa como público-alvo da pesquisa. Como alternativa, o especialista sugeriu que fossem apresentadas opções pré-definidas de valores em escalas intervalares por ordem de grandeza, em vez de solicitar dados precisos. Esta opção não pode ser considerada, pois impossibilitaria o cálculo do erro de estimativa, que é o objetivo de análise. Conforme relatado anteriormente (vide Pré-Teste com Especialista 1), neste caso a opção foi por utilizar a unidade mês. A segunda observação do especialista foi quanto à questão sobre o modelo de desenvolvimento utilizado: “*Sequential (Waterfall)*” ou “*Flexible (Iterative/Agile)*”. Sugeriu trocar os termos para “*Predictive*” ou “*Adaptive*” por ser a terminologia mais adequada citando a referência Fowler (2005). A sugestão foi aceita e o instrumento alterado para a nova terminologia. A terceira observação foi sobre a necessidade de deixar claro que a estimativa solicitada era a da proposta aprovada pelo cliente para execução do projeto. A sugestão foi adotada e foram adicionadas instruções de forma a deixar esta informação clara para o respondente. A quarta observação foi a de que a falta de análise do caminho crítico não é determinante para o erro de

estimativa, mas apenas um fator de impacto no erro. Neste caso não houve necessidade de alteração do instrumento pelo fato de que o objetivo do instrumento era justamente identificar fatores de impacto no erro e porque a análise estatística a ser realizada permitirá concluir sobre a influência da análise de caminho crítico no erro de estimativa. A última sugestão foi de adicionar uma questão que mapeasse se as estimativas estavam considerando todas as fases do ciclo de vida do projeto, e não apenas a etapa de desenvolvimento. A sugestão resultou na adição do fator “Mapeamento do ciclo de vida do projeto” e uma questão respectiva no instrumento de pesquisa. Como comentário geral, o especialista reforçou a importância de utilizar terminologia comum para facilitar o entendimento do instrumento pelo respondente.

- Pré-Teste com Especialista 3

Após responder as questões, o especialista relatou que acreditava ser um bom instrumento de pesquisa e fez duas observações. A primeira foi que algumas das perguntas podem colocar o respondente de “saia justa” caso fosse divulgado quem respondeu. Isto pois existem questões consideradas delicadas pelo especialista, como por exemplo, as que tratam da colaboração da organização e do cliente. Segundo o especialista, os respondentes podem ficar com receio de serem prejudicados no caso de respostas negativas nestes itens e acredita que a resposta real deva ser alguns pontos abaixo da efetivamente respondida. Sugere retirar a identificação do respondente do instrumento, pois acredita que as questões devem ser mantidas por serem de alta relevância. A sugestão foi julgada procedente e o instrumento foi alterado de forma a deixar como opcional. O segundo comentário foi de que acredita ser importante capturar se foram fornecidos ao projeto os profissionais com o perfil necessário. Demonstrou estar satisfeito com as questões sobre o conhecimento na tecnologia e na área de negócios por cercarem este aspecto. Sendo assim, não houve necessidade de mudança no instrumento no que diz respeito a esta observação.

- Pré-Teste com Especialista 4

Após responder a pesquisa, a primeira observação do especialista foi sobre a falta de uma categoria “Não se aplica”. De acordo com o especialista, existem casos em que a pergunta não se aplica ao contexto do projeto e, portanto, seria importante disponibilizar esta opção. O especialista citou como exemplo duas questões que acredita não se aplicarem a projetos Ágeis: “*Estimates were based in a pessimistic scenario*” e “*There was enough time to estimate and plan the project*”. Para o especialista, estas questões não se aplicam, pois este tipo de análise não é relevante em projetos Ágeis já que as iterações são *time-boxed* (tamanho

pré-definido) e o planejamento e requisitos são definidos ao longo do projeto. A sugestão foi aceita sendo adicionada uma opção NA. Adicionalmente, a questão “*There was enough time to estimate and plan the project*” foi removida pois já estava mapeada nas demais questões que falam sobre o nível de detalhamento do planejamento. A segunda sugestão foi separar a opção “*Flexible (Iterative/Agile)*” em duas categorias já que projetos Iterativos não necessariamente são Ágeis. Esta solicitação entrou em consonância com a sugestão do Especialista 2, o qual havia sugerido mudanças nesta descrição, sendo o instrumento alterado para adotar a terminologia “*Predictive*” e “*Adaptive*” sugerida pelo Especialista 2. Entende-se que a nova terminologia atende a sugestão do Especialista 4 visto que os termos “*Iterative*” e “*Agile*” deixam de constar em uma mesma categoria. A última observação foi de que o questionário pareceu direcionado a projetos tradicionais de modelo de desenvolvimento cascata. O especialista sugeriu algumas novas questões em linha com projetos que adotam modelo de desenvolvimento Ágil. As questões sugeridas resultaram na adição de três novos fatores que não estavam sendo contemplados no instrumento:

- Priorização de Requisitos: segundo o especialista, priorizar requisitos do projeto, desenvolvendo os de maior prioridade antes, contribui para dirimir o erro de estimativa, especialmente em projetos que adotam Metodologia Ágil.
- Adoção de práticas de qualidade: para o especialista, a adoção de práticas de qualidade, como por exemplo, revisão de *design* e revisão de código, contribui para reduzir o erro de estimativa.
- Revisão das entregas pelo cliente: segundo o especialista, a revisão das entregas pelo cliente durante o desenvolvimento do projeto, como por exemplo, reuniões de demonstração e apresentação de protótipos, também contribuem para diminuir o erro de estimativa em projetos, e é uma prática recomendada pela Metodologia Ágil.

A Tabela 4 apresenta um resumo das sugestões apresentadas pelos especialistas e soluções implementadas pelo autor.

	Sugestão	Solução
Especialista 1	Deixar claro que o interesse da pesquisa está nos fatores que afetam o erro de estimativa.	Texto do instrumento reformulado de forma a deixar mais claro.
Especialista 1	Capturar se o projeto havia sido cancelado ou concluído.	Adicionada instrução de que o questionário fosse respondido apenas para projetos que não haviam sido cancelados.
Especialista 1	Clarificar se a pergunta sobre o tamanho da organização referia-se a Brasil ou mundo (já que a empresa tem abrangência global).	Como esta pergunta não era relevante para o estudo, a decisão foi de excluí-la.
Especialista 1	Utilizar a medida de esforço em horas em vez de mês já que esta é uma informação mais fácil de ser obtida.	Como o Especialista 2 considerou o dado preciso sobre a duração e esforço de difícil acesso, a opção foi por utilizar a unidade mês por estar em nível escalar intermediário atendendo a maior parte dos casos.
Especialista 1	Adicionar uma explicação ou referência externa sobre cada uma das técnicas de estimativa.	Simplificação do instrumento apresentando apenas dois grandes grupos de técnicas em vez de cada uma individualmente.
Especialista 1	Destacar em negrito os adjetivos e palavras com sentido negativo.	Palavras de sentido negativo foram destacadas em negrito, porém não os adjetivos para não poluir visualmente o instrumento.
Especialista 1	Deixar claro que as perguntas abertas eram sobre o erro de estimativa total do projeto, e não sobre tarefas individuais.	Instruções foram adicionadas no instrumento para que este aspecto ficasse mais claro.
Especialista 2	Ter como público-alvo Gerentes de Projeto da ativa.	Sugestão já estava atendida, pois este já era o público-alvo do instrumento.
Especialista 2	Uso de opções pré-definidas de valores em escalas intervalares para questão de estimativas.	Não considerada, pois impossibilitaria o cálculo do erro de estimativa.
Especialista 2	Substituição dos termos “ <i>Sequential (Waterfall)</i> ” ou “ <i>Flexible (Iterative/Agile)</i> ” por “ <i>Predictive</i> ” ou “ <i>Adaptive</i> ”.	Sugestão aceita e instrumento alterado.
Especialista 2	Deixar claro que a estimativa solicitada era a da proposta aprovada pelo cliente.	Sugestão aceita e instruções adicionadas.
Especialista 2	Mapear se as estimativas estavam considerando todas as fases do ciclo de vida do projeto.	Adição do fator “Mapeamento do ciclo de vida do projeto” e uma questão respectiva no instrumento de pesquisa.
Especialista 3	Retirar identificação do respondente.	Deixado como opcional.
Especialista 3	Capturar se foram fornecidos ao projeto os profissionais com o perfil necessário.	Capturado nas questões sobre a equipe.
Especialista 4	Inclusão de uma opção “Não se aplica”	Opção incluída.
Especialista 4	Separar a opção “ <i>Flexible (Iterative/Agile)</i> ” em duas categorias	Substituição pelo termo Adaptive.
Especialista 4	Adição de três novos fatores: Priorização de Requisitos; Adoção de práticas de qualidade; Revisão das entregas pelo cliente.	Fatores adicionados no instrumento.

Tabela 4 – Resumo do pré-teste do instrumento de pesquisa

Fonte: Especialistas 1, 2, 3 e 4.

3.4 DIMENSÕES E FATORES DE ANÁLISE

Neste estudo, a análise do erro de estimativa de esforço (EE) e de duração (ED) em projetos de software é realizada com base em Dimensões (D) compostas por fatores de análise (F), sendo que cada fator possui uma questão correspondente no instrumento de pesquisa. No total, 31 fatores de impacto no erro de estimativa (Fs) foram identificados e classificados em 7 dimensões de análise (Ds), conforme segue. A definição das dimensões e distribuição dos fatores em cada uma, foi realizada com base na revisão teórica. Não houve quantidade de observações suficientes para também realizar uma análise fatorial estatística.

- 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).

- D2 - Processo de Estimativa

Esta dimensão trata do processo utilizado para formação das estimativas. A execução do processo de estimativa de forma adequada minimiza os erros de estimativa (MCCONELL, 2006; JONES, 2007).

- D3 - Experiência da Equipe

Esta dimensão diz respeito à experiência profissional da equipe de projeto. Equipes mais experientes tendem a ter menores erros de estimativa (MCCONELL, 2006).

- 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.

- 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.

- 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).

- 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 (PUTNAM, MYERS, 2007).

A Tabela 5 apresenta os fatores que formam cada dimensão do modelo de análise. A fonte dos fatores de análise (F) que compõe cada dimensão foi a revisão teórica (seção 2.2.5) e pré-testes com especialistas (seção 3.3.1).

	Fonte	
	Revisão teórica	Especialistas
D1 – Incerteza do Projeto		
(F1) Clareza dos objetivos	X	
(F2) Detalhamento antecipado do planejamento	X	
(F3) Detalhamento antecipado dos requisitos	X	
(F4) Detalhamento antecipado do <i>design</i>	X	
(F5) Mapeamento do caminho crítico	X	
(F6) Estabilidade dos requisitos	X	
D2 - Processo de Estimativa		
(F7) Mapeamento do ciclo de vida		X
(F8) Otimismo do Estimador	X	
(F9) Reserva de planejamento (<i>buffer</i>)	X	
(F10) Cruzamento de estimativas	X	
(F11) Uso de software de estimativa	X	
(F12) Pressão externa para redução das estimativas	X	
D3 - Experiência da Equipe		
(F13) Experiência em projetos de software	X	
(F14) Experiência na tecnologia	X	
(F15) Experiência na área de negócios	X	
D4 - Trabalho em Equipe		
(F16) Colaboração da equipe	X	
(F17) Colaboração do cliente	X	
(F18) Colaboração de parceiros	X	
(F19) Colaboração da Organização		X
D5 - Controle de Execução		
(F20) Acompanhamento do estimado versus realizado	X	
(F21) Priorização de requisitos		X
(F22) Adoção de práticas de qualidade		X
(F23) Revisão das entregas pelo cliente		X
(F24) Avaliação de riscos	X	
D6 – Gerência de Recursos		
(F25) Mapeamento da equipe	X	
(F26) Disponibilidade de recursos	X	
(F27) Vinculação a análise de desempenho	X	
(F28) Motivação da equipe	X	
(F29) Rotatividade da equipe	X	
D7 – Complexidade e Tamanho		
(F30) Complexidade do software	X	
(F31) Tamanho do projeto	X	

Tabela 5 – Fatores (Fs) por Dimensão (Ds)

Fonte: O autor

Cada fator de análise (F) foi mensurado por uma questão do instrumento de pesquisa (Anexo 1). A Tabela 6 apresenta a questão do instrumento de pesquisa utilizada para medir cada fator. As respostas foram baseadas em escala Likert de 5 pontos, com opções que variam de Discordo Totalmente até Concordo Totalmente.

Fator	Questão no instrumento de pesquisa
F1	Estimates were based in clear project objectives.
F2	Estimates were based in a clear and detailed project plan.
F3	Estimates were based in clear and detailed requirements.
F4	Estimates were based in clear and detailed design.
F5	Estimates were based in a clear mapping of the project critical path.
F6	There was little addition or changes in the project requirements throughout the project.
F7	Estimates considered all of the phases in the project life-cycle, not only development phase.
F8	Estimates were based in a pessimistic scenario (many expected difficulties to execute the project).
F9	The project adopted a buffer in the estimates to support possible changes in requirements and other unexpected events.
F10	Different estimation techniques were used, comparing the different estimates and investigating differences amongst them.
F11	Estimates were done with the support from software packages specialized in project estimation.
F12	Estimates were naturally accepted by the business area and the client (there was no pressure to reduce them).
F13	The project team was formed by senior professionals with deep prior experience in the estimation and execution of software projects.
F14	The project team had deep prior experience in the technologies used in the project (e.g.: programming language, development tools, etc.).
F15	The project team had deep prior experience in the development of other projects in the same business area.
F16	The project team had a good level of collaboration among the team members throughout the project.
F17	The client acted in a collaborative way with the project team during the project execution.
F18	External partners (e.g.: subcontractors, other teams of inter-related projects) acted in a collaborative way with the project team during the project execution.
F19	The organization acted in a collaborative way with the project team during the project execution.
F20	The project team tracked the estimates versus actuals throughout the project.
F21	Requirements were prioritized with higher priority requirements being developed first.
F22	Quality practices were used (design review, code review etc.) during the project.
F23	The client reviewed the project deliverables throughout the project.
F24	Project risks were tracked and mitigated throughout the project.
F25	Estimates were based in a clear mapping of all the professional classes that needed to be allocated in the project (e.g.: software developers, testers, project managers etc.)
F26	The project had the necessary resources (professionals, hardware, software etc.) when needed.
F27	The ability of delivering the project according to the effort and duration estimates had a high weight in the team members performance reviews.
F28	The project team was motivated to deliver the project according to the effort and duration estimates that were agreed with the client.
F29	The project had a low turnover (replacement of project professionals).
F30	The developed software was of low complexity (business rules, processing requirements, integration with other systems, database, availability requirements, security level etc.)

Tabela 6 – Questões por fator

Fonte: O autor

Observa-se que o F31 não consta no questionário como um dos itens medidos em escala Likert, pois é medido pela quantidade de esforço empregada no projeto. Esta informação foi capturada nas questões da seção de dados do projeto. O presente estudo considera que quanto maior o esforço investido no projeto, maior o tamanho do projeto.

3.5 HIPÓTESES

Com o objetivo de responder a questão de pesquisa e tendo em vista as dimensões (D) e fatores (F) propostos, hipóteses foram definidas para que fossem testadas de forma a contribuir com a natureza explanatória da pesquisa. Depois de elaboradas, as hipóteses foram submetidas à revisão de um quinto especialista, profissional com mais de 20 anos de experiência profissional e que também atua no Centro de P&D da Hewlett-Packard em Porto Alegre coordenando um grupo de gerentes de projeto da organização. Neste processo de validação, cada uma das hipóteses propostas e respectivos fatores de análise foram apresentados ao especialista e discutidas. As hipóteses também foram apresentadas a uma Professora de Estatística da PUC-RS que fez contribuições no sentido de melhorar a redação das hipóteses bem como na elaboração das análises quantitativas presentes neste trabalho. Por fim, o autor adicionou a hipótese (H6) para testar a dimensão D6 identificada posteriormente. Como resultado final do processo ficaram definidas as seguintes hipóteses de pesquisa:

- 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 pelo fato de que projetos que adotam modelo adaptativo prezam pela redução da incerteza ao longo do projeto em vez de logo no início (vide seção 2.2.5).

- H2 - Uso de boas práticas no processo de estimativa está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.
- H3 - Uso de profissionais experientes está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.
- H4 - Trabalho em equipe está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.

- H5 - Controle do projeto está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração.
- H6 - Gerência dos recursos está inversamente associada a erros de estimativa de esforço e de duração.
- H7 - Tamanho e complexidade do projeto estão diretamente associados a erros de estimativa de esforço e de duração.

A Tabela 7 apresenta as dimensões e fatores utilizados para analisar cada uma das hipóteses de pesquisa.

Hipótese de Pesquisa	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

Tabela 7 – Dimensões e fatores por hipótese

Fonte: O autor

3.6 ADMINISTRAÇÃO DA SURVEY

No que tange a abordagem de comunicação com os participantes da pesquisa, optou-se pelo uso de uma survey auto-administrada (COOPER, SCHINDLER, 2003). Neste tipo de abordagem é enviado um questionário estruturado com questões pré-definidas aos respondentes podendo usar diferentes meios, como por exemplo, entregar pessoalmente, por correio tradicional ou computador (e-mail, internet, intranet organizacional) (COOPER, SCHINDLER, 2003). Neste estudo, o instrumento de pesquisa foi disponibilizado aos respondentes de duas formas. O participante da pesquisa tinha a opção de responder o questionário acessando o sistema Qualtrics disponibilizado pela PUC-RS para resposta via Web ou preenchendo um arquivo formato xlsx (Excel) e devolvendo o arquivo por email para o pesquisador.

3.7 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS

Para realizar as análises estatísticas de interesse deste estudo, é necessário entender se o tipo de teste a ser realizado deve ser do tipo paramétrico ou não-paramétrico (DANCEY, REIDY, 2006; FIELD, 2009). Testes paramétricos exigem que a amostra satisfaça algumas

condições, sendo a principal de que a população seja normalmente distribuída (DANCEY, REIDY, 2006). A distribuição normal padrão é uma distribuição com forma normal, de média 0 e desvio padrão igual a 1 (DANCEY, REIDY, 2006). Para entender se a amostra de dados deste estudo possui distribuição normal foram executados os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. São consideradas normais distribuições que apresentem nível de significância acima de 0,05 (FIELD, 2009). O teste de Kolmogorov-Smirnov apresentou $p=0,045$ para ED, enquanto o teste Shapiro-Wilk apresentou $p=0,006$. Ou seja, ambos os testes de normalidade falharam para ED. Já para EE o teste de Kolmogorov-Smirnov sugeriu normalidade ($p=0,124$). Por outro lado, o teste de Shapiro-Wilk negou normalidade ($p=0,026$). Outro quesito na escolha entre testes paramétricos e não paramétricos é o tipo de escala do instrumento. Testes paramétricos requerem escalas contínuas (Profa. de Estatística, 2011). Segundo a Profa., a escala de 5 pontos do presente estudo com opções de Discordo Totalmente a Concordo Totalmente não é uma escala contínua e portanto os resultados do estudo devem ser analisados por técnicas não paramétricas. A opção final foi pelo uso de análises não paramétricas para o presente estudo em função dos dados não satisfazerem o pressuposto de normalidade para ED, trazer dúvidas no caso de EE e não adotar uma escala contínua.

A análise de correlação é a análise estatística de maior interesse deste estudo, pois permite confirmar as hipóteses do estudo. A análise de correlação testa a associação entre variáveis sendo que se denomina o relacionamento entre duas variáveis de correlação bivariada (DANCEY, REIDY, 2006). Isso significa que co-variam, ou seja, quando os valores em uma variável mudam, os valores na outra variável também mudam de maneira previsível (DANCEY, REIDY, 2006). Um relacionamento correlacional não pode ser considerado como se sugerisse causalidade (DANCEY, REIDY, 2006). Ou seja, se uma associação significativa existe entre duas variáveis, não quer dizer que x cause y ou vice-versa (DANCEY, REIDY, 2006). Adicionalmente a análise de correlação também permite determinar (DANCEY, REIDY, 2006):

- A direção do relacionamento – se é positivo (quando x cresce, y cresce também), negativo (quando x cresce y decresce) ou zero.
- A força ou magnitude do relacionamento entre as duas variáveis – o teste estatístico, chamado de coeficiente de correlação, varia de 0 (nenhuma relação entre as variáveis) a 1 (relação perfeita entre as variáveis).

Os testes de correlação mais conhecidos são o coeficiente de Pearson, utilizado para dados paramétricos, e o seu equivalente não-paramétrico coeficiente de Spearman (DANCEY, REIDY, 2006; FIELD, 2009). Conforme visto, o conjunto de dados deste estudo é apropriado ao uso de análises não paramétricas e, portanto é utilizado o coeficiente de Spearman. O coeficiente de Spearman é apropriado tanto para variáveis contínuas como ordinais sendo que primeiro faz o ranking e depois aplica a equação de Pearson (FIELD, 2009). Ao realizar a análise de correlação, também pode ser feita uma hipótese direcional da relação entre as variáveis (DANCEY, REIDY, 2006; FIELD, 2009). Quando essa hipótese existe é denominada de hipótese unicaudal (DANCEY, REIDY, 2006; FIELD, 2009). Por outro lado, quando não existe é denominada bicaudal (DANCEY, REIDY, 2006; FIELD, 2009). Este estudo apresenta hipóteses sobre a direção do relacionamento entre as variáveis dependentes (ED e EE) e as variáveis independentes (F1-F31). Por exemplo, a hipótese H3 é de que o uso de profissionais experientes está inversamente associado a erros de estimativa de esforço e de duração. Ou seja, ao propor a relação inversa está se propondo a direção do relacionamento. Por esta razão, o presente estudo adota hipótese unicaudal como opção para a análise de correlação.

3.8 AMOSTRA

A seleção da amostra foi por conveniência. O estudo foi conduzido na empresa Hewlett-Packard, a maior empresa do setor de tecnologia da informação do ranking Fortune 500 e 11^a no ranking geral, tendo obtido receita de US\$ 126 bilhões no último ano (CNN MONEY, 2011). A HP é uma multinacional líder em diversos segmentos da indústria de TI, provendo produtos de infra-estrutura de TI, software, serviços e soluções para indivíduos e organizações de todos os tamanhos. 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*), como é chamado, atua desenvolvendo produtos de software que, geralmente, fazem parte de um programa mais amplo coordenado por diferentes divisões de negócio da empresa nos Estados Unidos. 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 centro de P&D desenvolve

produtos principalmente para as áreas de ESSN (Enterprise Servers, Storage & Network) e IPG (Imaging & Printing Group).

O questionário foi disponibilizado para respostas durante um período de quatro meses decorridos entre a segunda quinzena de maio de 2011 à primeira quinzena de setembro de 2011. A pesquisa foi anunciada em diversos grupos e fóruns de gerência de projeto e desenvolvimento de software da empresa do qual fazem parte pessoas que trabalham nestas atividades nas mais diversas áreas da corporação globalmente. No total, foi possível coletar 47 questionários respondidos. Desse total, 38 são projetos de software executados em unidades de P&D e 9 de outras áreas da empresa. Para obter melhor representatividade sobre a população total de projetos decidiu-se então por analisar apenas os projetos de P&D.

3.8.1 Sanitização da Amostra

Ao analisar os 38 questionários de P&D respondidos, 3 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 (também chamados de valores espúrios ou *outliers*) 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).

Para entender o motivo da diferença desses casos em relação aos demais se recorreu a uma análise das respostas às questões abertas ao final do instrumento que pediam ao respondente para justificar o motivo do erro de estimativa. No caso do Projeto 18, o respondente relatou que a equipe inteira de projeto pediu demissão perto do final do projeto causando um gigantesco impacto para substituir profissionais e capacitá-los para desenvolver e qualificar as funcionalidades previstas. O respondente não informou o tamanho da equipe, mas deduz-se que era uma equipe em torno de quatro pessoas em função do esforço e duração estimados para o projeto (36 meses de esforço durante 9 meses = $36/9 = 4$). Esse projeto apresentou EE de 12,33. Neste caso isto significa dizer que o projeto levou 1.233% de esforço a mais que o previsto ($1.233\% * 36 = 444$ meses a mais) que, somados aos 36 iniciais, totaliza 480 meses de esforço investido no projeto. Mesmo com as justificativas apresentadas pelo

respondente, considera-se esse índice de erro bastante alto o que poderia ser atribuído a um possível erro de digitação na hora de preencher a resposta neste campo do instrumento.

No caso do projeto 33, foi constatado problema semelhante ao projeto 18. Ao analisar as questões abertas ao final do instrumento, pode-se observar o relato por parte do respondente sobre mudanças organizacionais significativas que geraram impacto na execução do projeto. Adicionalmente, o respondente reportou uma mudança nos compromissos de entrega do projeto ao longo da sua execução como sendo outro fator determinante para o erro de estimativa. Aqui foi interessante constatar um alinhamento com a teoria do Cone da Incerteza (seção 2.2) já que o respondente afirmou que ao longo do projeto a execução e previsibilidade melhoraram sensivelmente. Este projeto apresentou EE de 2,87, sendo inicialmente planejado em 900 meses de esforço, tendo ao final resultado em 3.480 meses durante um período de duração de 36 meses. Deduz-se que o projeto foi composto por uma equipe de aproximadamente 96 pessoas (3.480 meses de esforço / 36 meses de duração). Observa-se que este é o maior projeto, em termos de esforço investido, entre todos os projetos reportados na pesquisa.

Por fim, foi excluído o projeto 34 que apresentou EE de 3,50. Embora não seja de interesse primário desta pesquisa, neste caso, o curioso foi observar o sentido do erro. Em vez de uma sub-estimativa como acontece na maior parte dos casos, houve uma super-estimativa. Se tivesse se optado pelo BREbias (vide seção 2.2.4) seria dito que o erro foi de -3.50 utilizando o sinal de negativo para identificar a direção do erro. Este projeto foi estimado em 99 meses de esforço para um período de 18 meses de duração e acabou levando apenas 22 meses de esforço em 7 meses de duração. Ao analisar as questões abertas pode-se verificar que o principal motivo para o erro de estimativa neste caso foi o fato de que este era um projeto de natureza exploratória. Ao longo do projeto os objetivos mudaram em função de uma série de *feedbacks* do cliente e requisições de diferentes partes interessadas. Adicionalmente houve uma decisão de mover parte significativa do escopo do projeto para outro projeto. Com a remoção dos valores atípicos restou um conjunto final de 31 observações que foram utilizadas para as análises estatísticas.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 PERFIL DOS RESPONDENTES

Os respondentes foram questionados quanto a sua função, graduação acadêmica e tempo de experiência profissional. Apresentaram experiência média de 15,9 anos, com valores que variaram de 5 para o menos experiente à 25 anos para o mais experiente. As figuras 3 e 4 apresentam detalhes sobre o perfil dos respondentes.

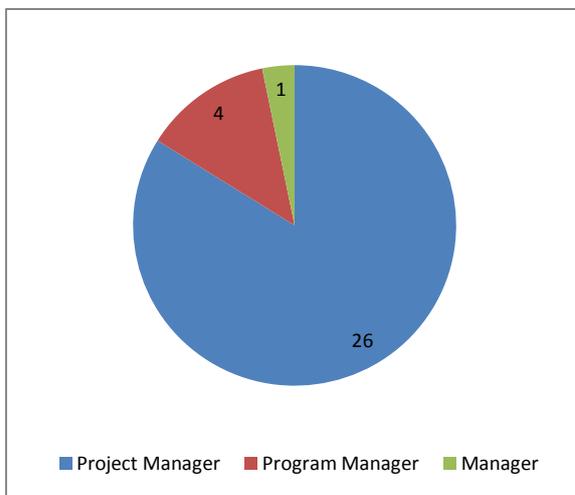


Figura 3 – Função do Respondente
Fonte: O autor

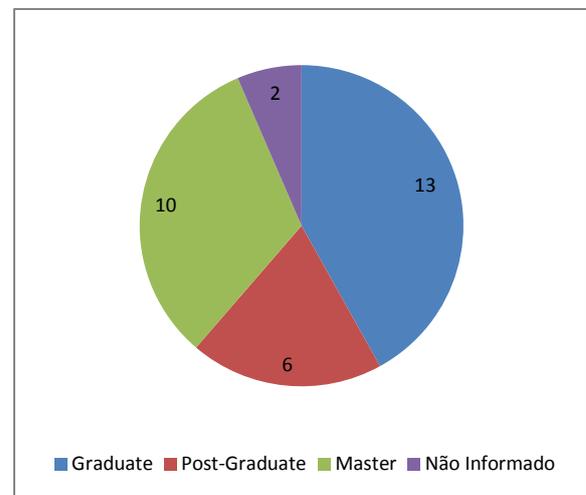


Figura 4 – Nível de Escolaridade do Respondente
Fonte: O autor

Observou-se que os participantes da pesquisa são, na sua maior parte, gerentes de projeto de software. Essa constatação atendeu as expectativas da pesquisa que tinha esse como seu principal público-alvo. Cabe ressaltar que o questionário podia ser respondido mais de uma vez pela mesma pessoa desde que cada vez fosse respondido para um projeto diferente. Nesses casos uma mesma pessoa é contabilizada mais de uma vez nos totais apresentados acima.

4.2 PERFIL DOS PROJETOS

O perfil dos 31 projetos de P&D selecionados para análise foi verificado quanto ao local onde o projeto foi desenvolvido e sua respectiva unidade de negócio. Os resultados são apresentados nas figuras 5 e 6.

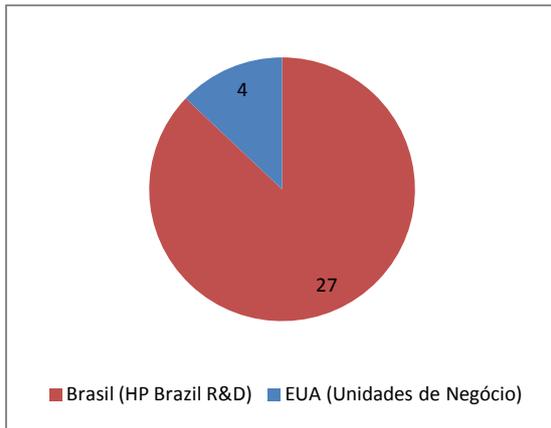


Figura 5 – Local de Desenvolvimento
Fonte: O autor

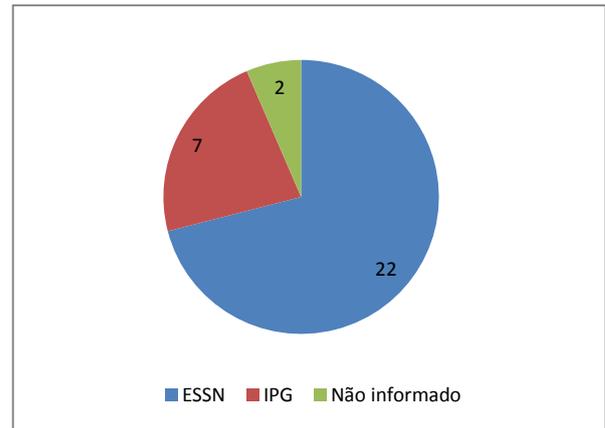


Figura 6 – Unidade de Negócio
Fonte: O autor

Observou-se basicamente três tipos de projeto: a) projetos de software para gerenciamento de novos produtos de *storage* (hardware para armazenamento de dados de larga escala). Nesse caso, um tipo específico de software denominado *firmware*; b) soluções de software para *cloud computing*; c) Softwares para produtos de imagem e impressão. Os dois primeiros desenvolvidos para a unidade de negócio ESSN (71% dos projetos) e o terceiro para IPG (23%). Quanto à localidade de execução dos projetos, os gráficos permitem observar que a maior parte foi executada no Centro de P&D da empresa no Brasil (87%) e parte nas áreas de P&D das respectivas unidades de negócio da empresa nos EUA (13%). Também foi coletada informação sobre o perfil dos projetos quanto ao modelo de desenvolvimento utilizado (Preditivo ou Adaptativo) e tipo de técnica de estimativa utilizada. Os resultados estão apresentados nas figuras 7 e 8.

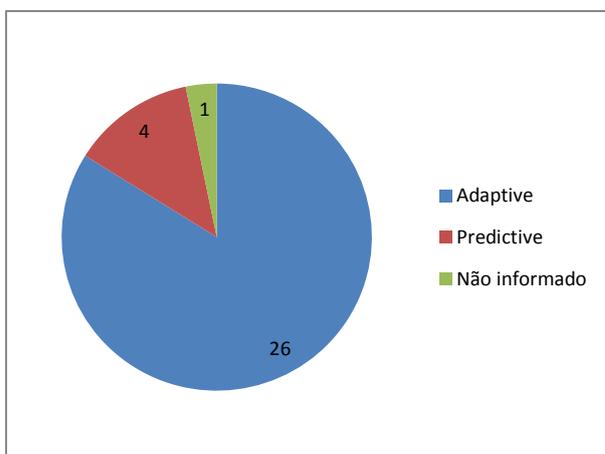


Figura 7 – Metodologia de Desenvolvimento
Fonte: O autor

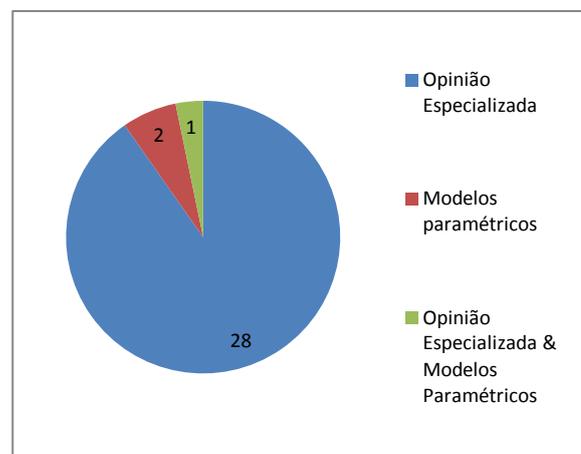


Figura 8 – Tipo de Técnica de Estimativa Utilizada
Fonte: O autor

Verificou-se que a grande parte (84%) adota um modelo adaptativo de desenvolvimento e 13% modelo preditivo. Por fim, a questão sobre a técnica de estimativa utilizada permitiu verificar que a grande maioria (90%) prefere a utilização de opinião especializada, contra apenas 6% com preferência por uma técnica de modelo paramétrico. Esta constatação coincide com a literatura (seção 2.2.2) que aponta a opinião especializada como sendo a abordagem predominante.

4.3 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

Estatísticas descritivas para o conjunto de 31 projetos da amostra são apresentadas na Tabela 8. Observa-se que os projetos têm, em média, um pouco menos de um ano de duração (10,92 meses), sendo que o projeto de maior duração chegou a 32 meses. O esforço por sua vez, teve uma média de 77,85 meses com um projeto chegando a 268 meses. Ao dividir o esforço médio pela duração média ($77,85/10,92$) resulta em 7,13. Com isso pode-se concluir que as equipes de projeto tem aproximadamente 7 pessoas em média durante o curso do projeto. Por outro lado, percebe-se um desvio padrão bastante alto em relação à média. A duração final apresentou um desvio padrão de 6,53 meses, um número relativamente alto em relação à média de 10,92 meses. O desvio padrão do esforço final é ainda maior proporcionalmente: 73,42 meses contra 77,85 da média, praticamente o dobro. Com isso pode-se concluir que a diferença de tamanho dos projetos no que diz respeito ao esforço empregado é bastante alta. A constatação é ainda apoiada pela diferença de esforço entre o maior e menor projeto: 2,76 meses de um contra 268 meses de outro.

	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

Tabela 8 – Estatísticas Descritivas sobre Duração e Esforço

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

Fonte: Dados da pesquisa (2011)

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%) (vide seção 1.1). Já o erro de esforço (EE) apresentou média (24%), mediana (20%) e moda (9%) que são valores melhores que o proposto pela literatura (30%) (vide seção 1.1). 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 o que foi citado na seção 2.2 sobre estudos publicados anteriormente afirmando que estimativas de projetos de software constantemente resultam em erro de 100% ou mais. Os histogramas das figuras 9 e 10 permitem verificar a frequência em que ocorre cada faixa de erro de estimativa. Observa-se que índices acima de 40% (tanto para ED como para EE) existem, mas ocorrem com frequência menor. Já com relação à frequência da duração (Figura 11) verifica-se que a ocorrência maior está em projetos na faixa de um ano de duração. O esforço, por sua vez, apresenta uma curva decrescente sendo que projetos de até 50 meses predominam (Figura 12).

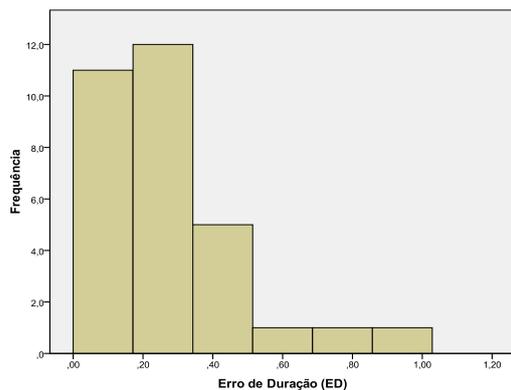


Figura 9 – Histograma Erro de Duração (ED)
Fonte: O autor

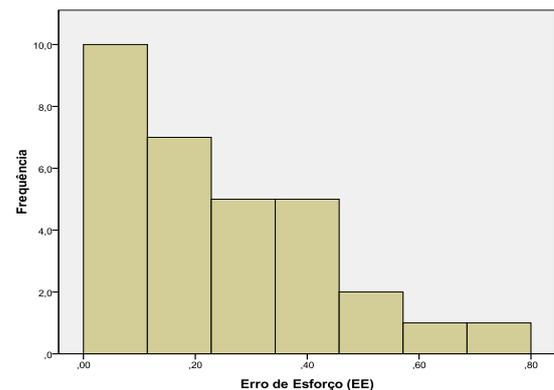


Figura 10 – Histograma Erro de Esforço (EE)
Fonte: O autor

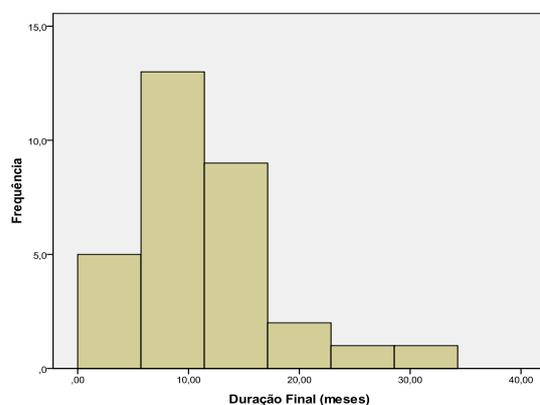


Figura 11 – Histograma Duração Final
Fonte: O autor

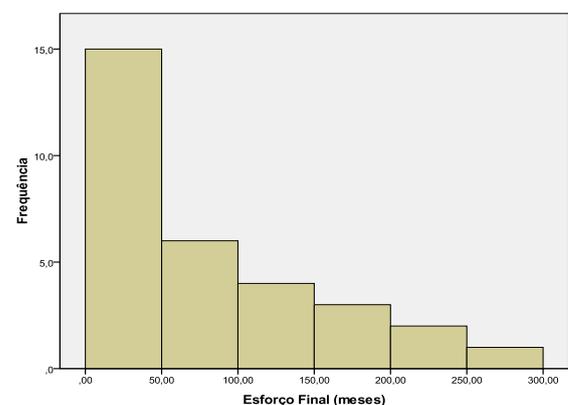


Figura 12 – Histograma Esforço Final
Fonte: O autor

A figuras 13 e 14 apresentam a direção do erro, ou seja, quantos projetos sofreram de sub-estimativa e quantos de super-estimativa. Observa-se que a grande maioria (24 projetos) tiveram duração final acima da duração estimada. Isto mostra uma maior constância de erro por sub-estimativa do que super-estimativa, suportando o que foi relatado na literatura (seção 2.2). 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.

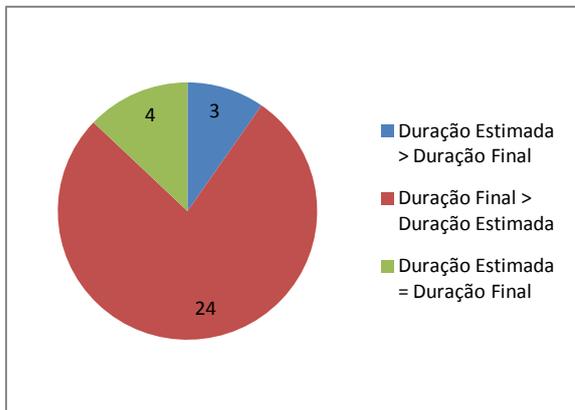


Figura 13 – Projetos por Direção do Erro de Estimativa de Duração
Fonte: O autor

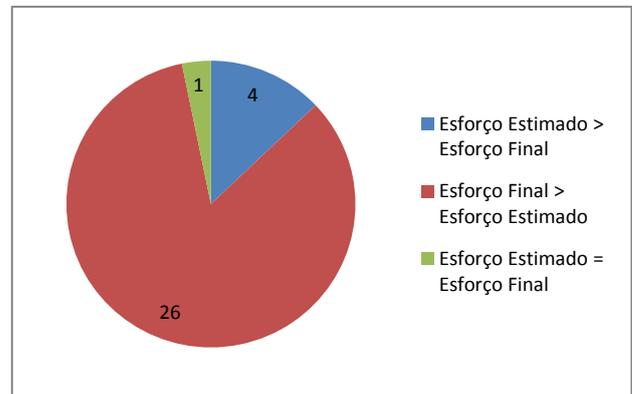


Figura 14 – Projetos por Direção do Erro de Estimativa de Esforço
Fonte: O autor

Na Figura 15 verifica-se o erro médio acumulado. O eixo X mostra o número de projetos usados no cálculo da média naquele determinado ponto. Desta forma, quando apenas o primeiro projeto é incluído na análise (posição 1 do eixo X), a média é o erro de estimativa do próprio projeto. Na posição 2, o erro de estimativa é a média do projeto 1 e projeto 2 e assim sucessivamente, até que na posição 31 é apresentada a média de todos os projetos. Observa-se que, à medida que novos projetos são incluídos na análise, a média de erro estabiliza. Percebe-se também que não são necessários muitos projetos para que a média estabilize por volta dos valores de erro citados pela literatura entre 20% e 35% de erro.

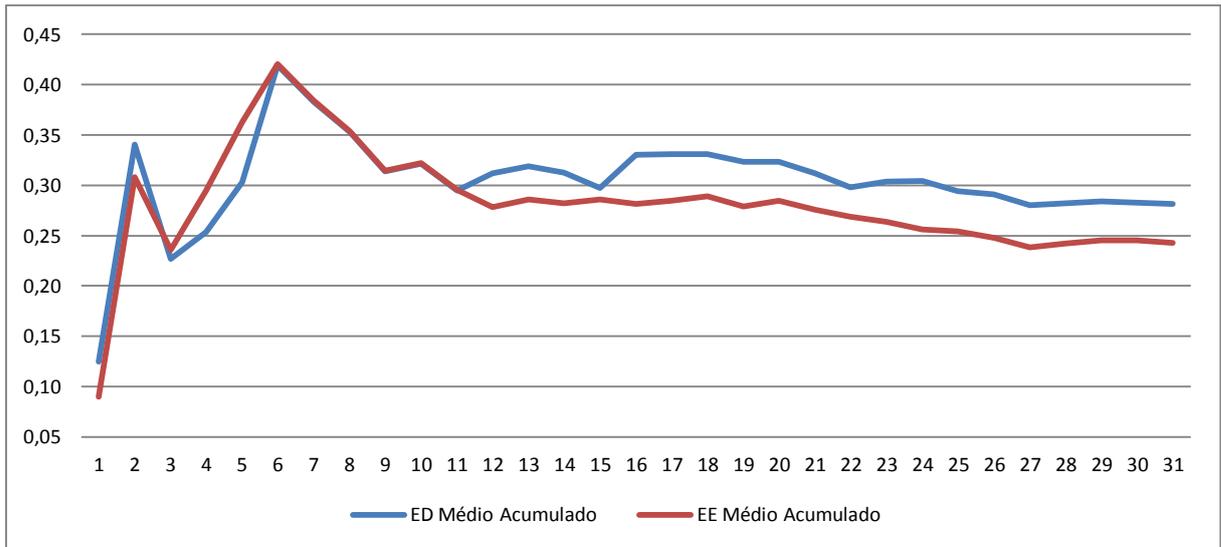


Figura 15 – Erro Médio Acumulado

Fonte: O autor

Na Tabela 9 é possível verificar os valores de duração e esforço estimado vs realizado para cada projeto individualmente.

Projeto	Duração Estimada	Duração Final	Erro de Duração (ED)	Esforço Estimado	Esforço Final	Erro de Esforço (EE)
P1	8,00	9,00	0,13	15,60	17,00	0,09
P2	9,00	14,00	0,56	73,75	112,60	0,53
P3	2,25	2,25	0,00	2,53	2,76	0,09
P4	6,00	8,00	0,33	17,00	25,00	0,47
P5	4,00	6,00	0,50	22,00	36,00	0,64
P6	8,00	16,00	1,00	157,00	268,00	0,71
P7	6,00	7,00	0,17	27,00	31,50	0,17
P8	3,50	4,00	0,14	15,75	18,00	0,14
P9	4,00	4,00	0,00	17,10	17,10	0,00
P10	9,00	12,50	0,39	175,50	243,75	0,39
P11	8,00	8,25	0,03	132,80	136,95	0,03
P12	6,00	9,00	0,50	79,00	86,00	0,09
P13	10,00	14,00	0,40	40,00	55,00	0,38
P14	16,00	13,00	0,23	64,00	52,00	0,23
P15	4,90	5,30	0,08	26,80	36,10	0,35
P16	12,00	22,00	0,83	38,00	46,00	0,21
P17	8,00	6,00	0,33	72,00	54,00	0,33
P19	24,00	18,00	0,33	110,00	150,00	0,36
P20	11,00	13,00	0,18	95,70	105,70	0,10
P21	6,00	8,00	0,33	39,00	54,00	0,38
P22	12,00	13,00	0,08	144,00	158,00	0,10
P23	24,00	24,00	0,00	264,00	234,00	0,13
P24	7,00	10,00	0,43	68,00	59,00	0,15
P25	5,00	6,60	0,32	34,70	37,70	0,09
P26	3,40	3,60	0,06	6,60	7,90	0,20
P27	5,00	6,00	0,20	29,00	31,50	0,09
P28	7,00	7,00	0,00	36,70	36,80	0,00
P29	9,00	12,00	0,33	9,00	12,00	0,33
P30	24,00	32,00	0,33	120,00	160,00	0,33
P31	8,00	10,00	0,25	8,00	10,00	0,25
P32	12,00	15,00	0,25	102,00	119,00	0,17

Tabela 9 – Erro de Estimativa por Projeto

Fonte: Dados da pesquisa (2011)

Uma análise de correlação, utilizando o coeficiente de Spearman, foi executada para analisar a associação existente entre algumas das variáveis do estudo. Primeiramente, constatou-se uma associação positiva entre duração final e esforço final (0,716; $p < 0,01$). Desta forma conclui-se que, de forma geral, projetos maiores (em termos de esforço para entregá-lo) geralmente demoram mais para serem concluídos. Também se constatou a existência de uma associação positiva entre ED e EE (0,680; $p < 0,01$) mostrando que, quanto maior o erro de duração, maior o erro de esforço. Por consequência, percebe-se que quando

um bom trabalho de estimativa e execução dentro do estimado é realizado para a duração do projeto, geralmente o mesmo acontece para o esforço.

Ainda observou-se uma associação positiva entre Duração Final e o Erro de Duração (0,438; $p < 0,01$) e entre Duração Final e o Erro de Esforço (0,320; $p < 0,05$). A primeira constatação a este respeito é que maior duração do projeto implica em maior erro de estimativa de duração. Para exemplificar seria como perceber que é mais provável acertar a estimativa de duração final de projetos estimados em 3 meses do que os estimados em 24 meses. O motivo para tal comportamento possivelmente seja que projetos mais longos, disponibilizem mais tempo para que mudanças ocorram ao longo do tempo, aumentando assim o risco de erro da estimativa de duração. Essa é uma razão que possivelmente também explique a associação positiva entre Duração Final e o Erro de Esforço. Outro motivo para ambas as associações, ED e EE, com a duração final talvez seja o fato que provavelmente projetos mais longos sejam mais complexos de serem feitos e de maior incerteza e, por consequência, com maiores riscos de erro da estimativa.

Também foi realizada uma análise das quantidades de resposta por fator de análise (Fs) e respectivos valores médios (escala de 5 pontos). Os resultados são apresentados nas figuras 16 e 17.

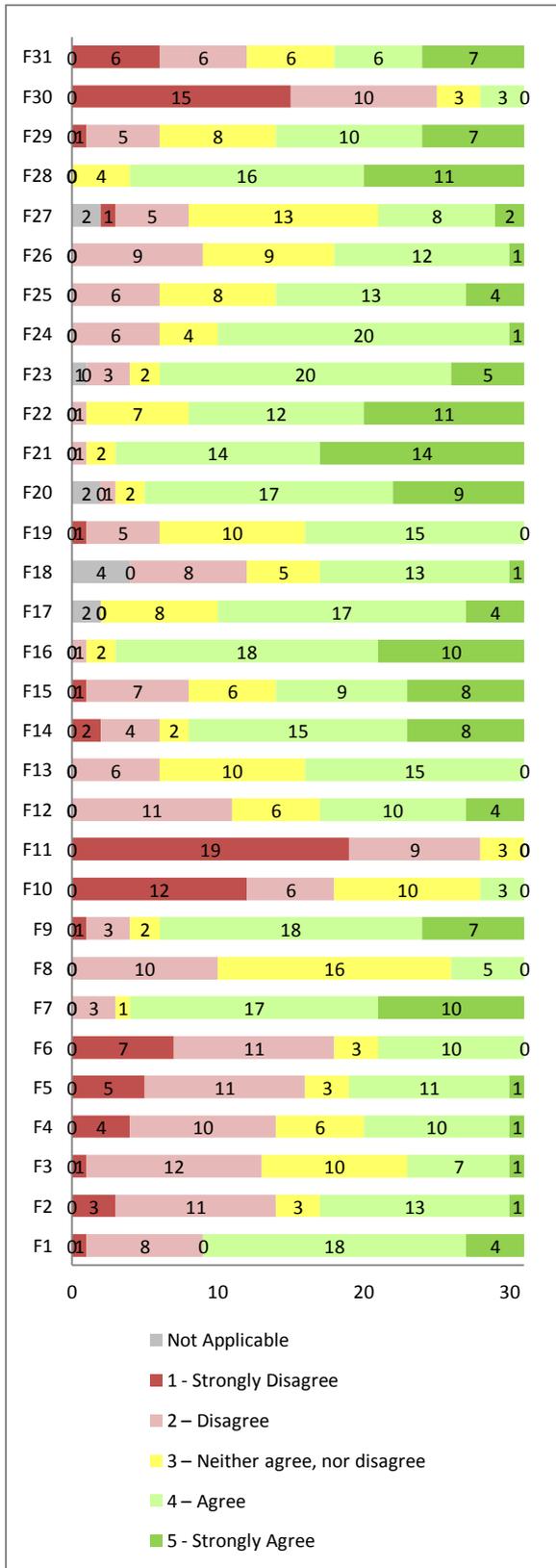


Figura 16 – Distribuição de respostas por fator
Fonte: O autor

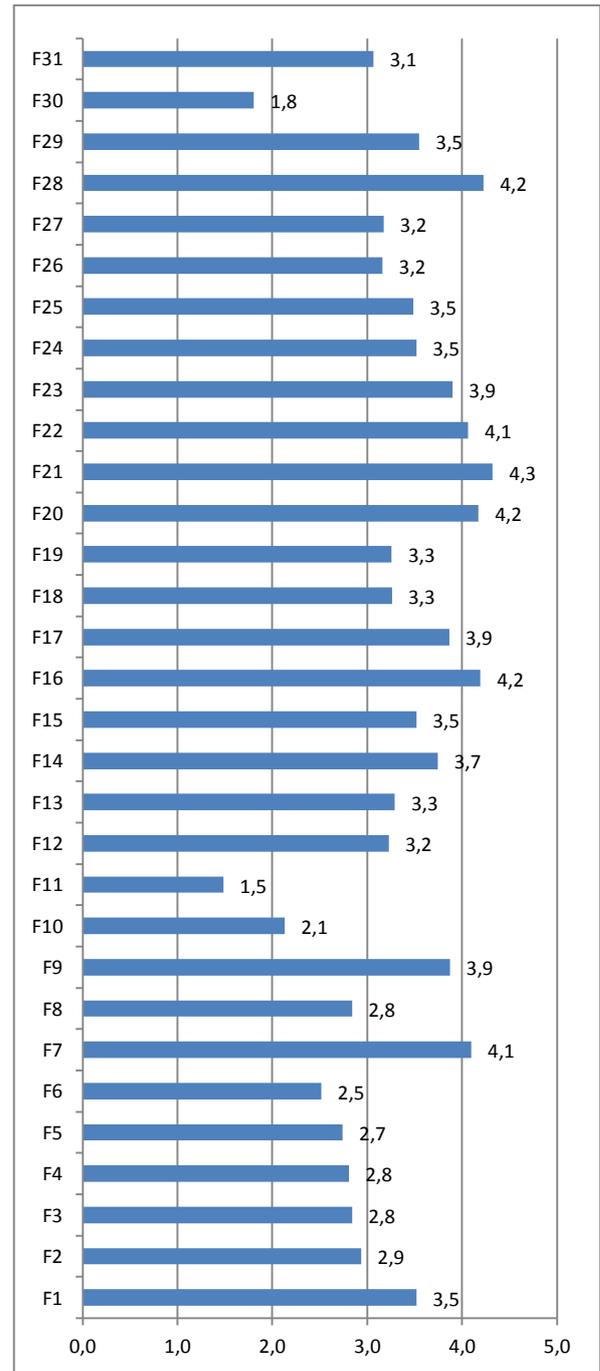


Figura 17 – Média das respostas por fator
Fonte: O autor

Ao analisar a média de valores por fator, foi observado que o fator que apresentou a menor média de resultados foi F11 - Uso de software de estimativa. Não houve respostas positivas para essa questão, apenas respostas entre 1 e 3. O segundo fator que apresentou índice bastante baixo foi F30 - Complexidade do software. Valores baixos na escala significavam que o projeto era um projeto complexo. Ou seja, os respondentes entenderam que, na média, os projetos são projetos complexos para desenvolver. Do outro lado da análise, vemos que o fator que apresentou a média mais alta foi F21 - Priorização de requisitos. Ou seja, os respondentes costumam adotar a prática de desenvolver primeiramente os requisitos de maior prioridade para o projeto. Os três outros fatores que apresentaram os índices médios mais altos foram F16, F20 e F28. A alta média para o fator F16 – Colaboração da equipe mostra que na média os respondentes entenderam que existe um bom trabalho em equipe entre as pessoas do projeto. No caso do F20 - Acompanhamento do estimado versus realizado observa-se que existe um alto nível de controle ao longo do projeto no que diz respeito ao acompanhamento do realizado versus as estimativas objetivando entregar o projeto dentro do prazo e esforço estimado. Por fim, a alta média para o fator F28 - Motivação da equipe, mostrou que os respondentes entendem que as equipes dos projetos estavam, na média, bastante motivadas para entregar o projeto dentro das estimativas de esforço e duração acordadas com o cliente.

4.4 TESTE DE HIPÓTESES

Cada uma das hipóteses deste estudo é referente a uma das dimensões de análise (7 hipóteses para 7 dimensões). 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 conforme apresentado no exemplo da Tabela 10. No caso das dimensões D1 e D7 a escala foi invertida para que o sinal da associação ficasse positivo de forma a representar uma associação direta conforme proposto pelas respectivas hipóteses. A inversão deu trocando o valor 1 por 5; 2 por 4; 4 por 2 e 5 por 1. A inversão foi necessária, 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.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	D1
Observação 1	4	3	4	5	2	4	$3,7 = (4+3+4+5+2+4)/6$
Observação 2	2	2	1	3	4	3	$2,5 = (2+2+1+3+4+3)/6$
Observação 3	4	2	4	5	5	3	$3,8 = (4+2+4+5+5+3)/6$

Tabela 10 – Exemplo cálculo índice da Dimensão

Fonte: O autor

O próximo passo foi verificar a correlação (Spearman) de cada uma das dimensões com ED e EE. A Tabela 11 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.

	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

Tabela 11 – Índice de correlação das dimensões para todos projetos

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

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

Fonte: O autor

- 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 porém, que o motivo disso tenha sido o baixo número de observações coletadas para projetos de modelo preditivo (n=4). Analisando os fatores individualmente percebeu-se um alto índice de associação entre F5 - Mapeamento do caminho crítico (-0,943; $p < 0,05$) e ED. A forte associação inversa mostra que projetos preditivos com uma melhor identificação do caminho crítico no momento da estimativa de duração inicial, apresentam uma grande tendência de apresentar menor erro de estimativa de duração. Não se observou associação do fator com o erro de esforço, ou seja,

o mapeamento do caminho crítico contribui com a entrega do projeto no prazo estimado, porém não necessariamente com a entrega dentro da estimativa de esforço.

Nesta dimensão, o interessante foi constatar que ao considerar o conjunto total de observações (n=31), observou-se 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. Ou seja, no conjunto total de projetos o nível de incerteza está diretamente relacionado com o erro mostrando que, quanto menor a incerteza, menor o erro de estimativa de duração. Ao analisar individualmente os fatores desta dimensão para o conjunto total de observações (n=31), verificou-se que 3 fatores apresentaram associação com ED: F2 - Detalhamento antecipado do planejamento (-0,386; $p < 0,05$); F4 - Detalhamento antecipado do design (-0,518; $p < 0,01$); F6 - Estabilidade dos requisitos (-0,305; $p < 0,05$) sendo que F6 também apresentou associação com EE (-0,352; $p < 0,05$).

- 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 significativa para D2. Porém, analisando os fatores que compõe a dimensão de forma individual observou-se que um fator ofereceu suporte a esta hipótese: F12 - Pressão externa para redução das estimativas. Esse fator apresentou índice de correlação de -0,498 ($p < 0,05$) com EE. Por outro lado, houve um fator que apresentou associação em sentido inverso ao proposto pelo estudo: F11 - Uso de softwares de estimativa (0,386; $p < 0,05$). Acredita-se que o motivo desse resultado inesperado para F11 seja o pequeno tamanho da amostra pois não houve respostas positivas a essa questão, tendo apenas os valores 1, 2 e 3 da escala de 5 pontos sido selecionados.

- 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 significativa para D3. Analisando os fatores que compõe a dimensão individualmente também não se verificou fatores que apresentassem correlação estatisticamente significativa de forma a dar suporte a hipótese de pesquisa.

- 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. Ao realizar uma análise individual verifica-se que tanto a colaboração da equipe (F16) como a colaboração de parceiros (F18) também apresentam correlação com significância estatística com ED (-0,331; $p < 0,05$) e (-0,386; $p < 0,05$) respectivamente. Possivelmente o motivo de F18 apresentar associação nesta amostra de projetos seja o fato de que os projetos de software executados na área de P&D da empresa geralmente não são auto-contidos, pelo contrário, envolvem extensiva colaboração com equipes externas. Estas equipes externas são basicamente de dois tipos. O primeiro tipo são empresas sub-contratadas para participar do projeto em que parte do escopo do projeto é delegado a sub-contratada para implementá-lo. O outro caso é de equipes da própria empresa que desenvolvem outros projetos dentro de um mesmo programa sendo que esses diferentes projetos em conjunto são responsáveis pelo desenvolvimento de um único produto de software. Estas diferentes equipes de projeto precisam colaborar entre si, pois muitas vezes uma depende da outra e, se uma falha com seus prazos, as demais podem ser afetadas por consequência.

- 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 (seção 3.4) 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. Ao analisar os fatores individualmente observou-se que a priorização de requisitos (F21) e ED estão inversamente associados apoiando a proposta do Especialista 4 (-0,336; $p < 0,05$). Desta forma conclui-se que a priorização de requisitos contribui para menor erro de estimativa de duração.

- 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. Ao analisar os fatores individualmente, 2 fatores suportaram a hipótese. Verificou-se que um bom mapeamento de quais são as classes de profissionais necessárias para o projeto (F25 – Mapeamento da equipe) está inversamente associado tanto com ED (-0,477; $p < 0,01$) como com EE (-0,442; $p < 0,01$). Também foi constatada associação inversa entre disponibilidade de recursos (F26) e EE (-0,422; $p < 0,01$). Ou seja, projetos com os recursos (profissionais, hardware, software etc.) necessários disponíveis no momento adequado apresentam menores erros de estimativa de esforço.

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

Esta hipótese não foi confirmada. Conforme mencionado na seção 3.4, 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, para possibilitar a geração de um resultado médio da dimensão D7 seguindo o modelo apresentado na Tabela 10, antes foi necessário adaptar o fator F31 a escala padrão de 5 pontos do instrumento de pesquisa. Os projetos foram então classificados em 5 níveis de tamanho. Projetos de maior esforço receberam pontuação menor e projetos de menor esforço receberam pontuação maior. Após esta etapa foi gerado 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. Porém, ao analisar os fatores que compõe a dimensão de forma individual, observou-se que o fator F31 - Tamanho do projeto apresenta associação estatística significativa com ED suportando a hipótese de pesquisa (0,369; $p < 0,05$), ou seja, projetos maiores apresentam maior erro de esforço. O motivo disso possivelmente seja pois projetos maiores, provavelmente disponibilizem mais tempo para que mudanças ocorram em relação ao que havia sido utilizado para as estimativas iniciais, aumentando o risco de erro da estimativa de esforço.

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.

Tabela 12 – Resumo da confirmação de hipóteses

Fonte: O autor

4.5 ANÁLISE DAS QUESTÕES ABERTAS

Com o objetivo de capturar alguns outros fatores de impacto no erro de estimativa que não haviam sido previamente identificados nos fatores (Fs) realizou-se uma análise das respostas às questões abertas ao final do instrumento que questionavam o respondente sobre os motivos para o erro de estimativa de duração e de estimativa de esforço.

Foi observado que o principal motivo para o erro de estimativa citado pelos respondentes foi dependências externas, geralmente de parceiros. Conforme mencionado, os

projetos de P&D da empresa geralmente fazem parte de um programa mais amplo que engloba um conjunto de projetos que juntos são responsáveis pelo desenvolvimento de um único produto. Desta forma, os projetos são bastante interligados havendo diversas dependências entre si. Por exemplo, um projeto é responsável pelo desenvolvimento do software de gerenciamento de um hardware e depende da liberação de novas versões do firmware do novo hardware (feitas em outro projeto) para concluir a sua implementação. A gerência de programa, por sua vez, busca planejar e acompanhar os projetos de forma que as datas de entrega de dependências entre os projetos estejam sincronizadas. Mesmo com esse controle, acontecem atrasos em um projeto resultando em atrasos de outros projetos do mesmo programa. Este tópico está representado nas questões: “*F5 Estimates were based in a clear mapping of the project critical path.*” e “*F18 External partners (e.g.: subcontractors, other teams of inter-related projects) acted in a collaborative way with the project team during the project execution.*”. Dependências externas foi fator citado por 12 projetos (P1, P2, P7, P8, P10, P16, P17, P24, P25, P27, P29 e P32). A média desses projetos para F5 foi de apenas 2,3 e para F18 foi de 3, suportando a justificativa.

O segundo fator mais citado foi a mudança de escopo/requisitos do projeto (P4, P5, P14, P21, P30 e P31). Nesses projetos, os respondentes reportaram haver muitas mudanças de escopo ao longo do tempo. Os motivos para mudanças são os mais variados. Projeto P30, por exemplo, citou que a causa de mudança de escopo foi uma mudança no hardware atrelado ao projeto. P17 citou que, na reunião de demonstração, o cliente solicitava muitas mudanças no que havia sido desenvolvido até o momento. P31 citou que parte do escopo foi omitido ou analisado muito superficialmente, mas precisou ser concluído. Este item foi coberto pela questão “*F6 There was little addition or changes in the project requirements throughout the project.*” com média 2 para esses projetos. Ou seja, na média os respondentes discordaram com a afirmação, apoiando a justificativa que apresentaram nas perguntas abertas.

Relacionado a esse aspecto, está o fato de que o escopo/requisitos não foram bem definidos no início do projeto (P4, P5, P6, P13, P17, P24 e P26). Os motivos para isso podem ser variados. P24, por exemplo, citou o fato de terem perdido o “*Business Developer*” no início do projeto. Este item foi coberto pela questão “*F3 Estimates were based in clear and detailed requirements.*”, cuja média foi 2,3 para esses projetos. Ou seja, na média os respondentes discordam com a afirmação apoiando a justificativa que apresentaram.

Outras causas também citadas como fatores de impacto no erro de estimativa foram:

- A complexidade de uma re-arquitetura do produto (P1 e P2)
- Estimativas realizadas por arquitetos em vez dos próprios desenvolvedores (P6)

- Primeira vez trabalhando com o cliente (P13)
- Demora na definição do design (P17)
- Demora no aprendizado de algoritmos inovadores (P17)
- Diferentes níveis de experiência na tecnologia entre os membros da equipe (P17)
- Área de Marketing decidiu colocar o produto no mercado antes do tempo previsto (P19)
- Projetos do mesmo programa usando ciclos de desenvolvimento e qualificação diferentes (P32)
- Algumas áreas do produto eram mais complicadas que outras (P32)

Caso, particularmente interessante foi o do projeto P20 que, em vez de citar um motivo para o erro de estimativa (assim como os demais), citou o motivo para o erro não ter sido ainda pior. De acordo com o respondente, se não fosse um processo de re-planejamento que cortou escopo do projeto, a variação do estimado vs realizado teria sido ainda maior. Esse projeto apresentou ED de 0,18 e EE de 0,10. Outro respondente (projeto P28) também relatou ter cortado escopo do projeto. Nesse caso observou-se índice zero para ambos EE e ED, o que talvez signifique uma priorização da conclusão do projeto no prazo e esforço estimado em detrimento da entrega do escopo.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

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 a seguinte questão de pesquisa: Quais os fatores que mais contribuem para minimizar o erro de estimativas de esforço e de duração em projetos de software?

Iniciou-se com uma revisão de literatura sobre o tema, elaborando um estudo sobre as diferentes abordagens de gerência de projetos e como está inserida no contexto da estratégia organizacional. As principais técnicas de estimativa foram identificadas sendo elas divididas em dois grandes grupos. Um grupo composto por técnicas baseadas em modelos paramétricos do qual fazem parte técnicas estatísticas como modelos de regressão, bayesiana e redes neurais e modelos específicos para estimar projetos de software como COCOMO II, SLIM, Checkpoint, PRICE-S e SEER-SEM. O segundo grupo composto por técnicas de opinião especializada como revisão em grupo, Wideband Delphi, decomposição e recomposição, PERT, checklists e Planning Poker. Ao final do estudo dessas técnicas atingiu-se o primeiro objetivo específico que era identificar as técnicas de estimativa de esforço e de duração.

Os dois outros objetivos específicos eram identificar os fatores que mais contribuem para minimizar o erro de estimativa segundo a literatura e segundo a amostra de projetos estudada. Diversas obras e pesquisas científicas foram analisadas resultando na identificação de um grupo de 26 fatores de impacto. Realizou-se então um pré-teste do instrumento de pesquisa com especialistas em gestão de projetos de software. Como resultado, foram identificados 5 novos fatores, totalizando 31 fatores de impacto no erro de estimativa. De posse da definição dos fatores de análise e instrumento de pesquisa, iniciou-se a execução da pesquisa propriamente dita. Nesse processo, diversos questionários foram coletados na empresa que passaram então para uma etapa de análise de resultados.

O instrumento foi respondido essencialmente por gerentes de projeto de software executados na empresa, sendo os projetos desenvolvidos para as divisões ESN e IPG. 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 (positiva) 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. Ao analisar os fatores individualmente, verificou-se que 10 apresentaram associação estatística com o erro de estimativa ($p < 0,05$) no sentido proposto pelo estudo, representando aproximadamente 32% do número total de fatores analisados: F2 - Detalhamento antecipado do planejamento; F4 - Detalhamento antecipado do design; F6 - Estabilidade dos requisitos; F12 - Pressão externa para redução das estimativas; F16 - Colaboração da equipe; F18 - Colaboração de parceiros; F21 - Priorização de requisitos; F25 - Mapeamento da equipe; F26 - Disponibilidade de recursos e F31 - Tamanho do projeto.

Por fim, a análise das respostas às questões abertas do instrumento complementou o estudo permitindo verificar fatores citados em texto livre pelos respondentes. Os motivos mais citados para o erro de estimativa foram as dependências externas, geralmente de parceiros trabalhando em um mesmo programa. O segundo motivo mais citado foi a mudança de escopo do projeto e o terceiro foi o fato do escopo não estar bem definido no início do projeto. Esses três motivos também estavam cobertos pelos fatores de análise F5 - Mapeamento do caminho crítico; F18 - Colaboração de parceiros; F6 - Estabilidade dos requisitos e F3 - Detalhamento antecipado dos requisitos. Ao final destas análises a questão de pesquisa estava respondida e atingidos o objetivo geral e específicos também se encontraram atingidos.

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.

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Embora o presente estudo apresente análises estatísticas, recomenda-se cautela na generalização dos resultados para a população de projetos. Os motivos para tal cautela são essencialmente dois. O primeiro é o fato de que a amostra estudada ($n=31$) é pequena em relação a população total de projetos de P&D de software da empresa. Essa observação é especialmente válida para a amostra de projetos preditivos cujo n foi de apenas 4 projetos. Em segundo lugar pois a amostra apresenta alguns vieses que merecem ser destacados. O primeiro deles é o fato de a maior parte dos projetos terem sido realizados no Laboratório de P&D da empresa no Brasil. Esta é uma diferença em relação à população pois se acredita que a maior parte dos projetos de P&D de software da empresa sejam realizados nos EUA. Outro viés é a possível tendência que os respondentes tenham selecionado os projetos em que tiveram melhor desempenho em termos de estimado vs realizado para responder a pesquisa. Este era um viés já previsto que procurou ser contornado exigindo que os respondentes selecionassem apenas projetos que tivessem sido concluídos entre 2008 e 2011 reduzindo o espectro de projetos disponíveis para seleção do respondente. De qualquer forma, mesmo com a medida adotada, acredita-se que ainda exista uma possibilidade de viés remanescente neste sentido pois o respondente pode ter realizado mais de um projeto nesse período. Por fim, existe o viés de a maior parte dos respondentes terem sido pessoas com maior facilidade de acesso por parte do pesquisador. Poucas pessoas responderam espontaneamente a pesquisa disponibilizada nos fóruns online da empresa. A grande parte das respostas foi obtida após

solicitação direta do pesquisador para o respondente. Por fim, é necessário considerar o contexto dos projetos pesquisados, pois possuem características particulares, como por exemplo, alguns casos apresentam forte interdependência com outros projetos participantes do mesmo programa. A necessidade da cautela quanto ao contexto é suportada pela literatura que relata que estudos similares em diferentes contextos de projetos de software apresentam uma variação significativa de razões para o atraso de projetos (GENUCHTEN, 1991). De qualquer forma, acredita-se que a revisão de literatura, juntamente com o pré-teste com especialistas e perguntas abertas ao final do instrumento de pesquisa permitiram obter o conjunto, dos principais fatores de impacto no erro de estimativa em projetos de software. Desta forma, acredita-se que equipes de projeto atentas a estes fatores e que os gerenciem de forma adequada possuem uma boa chance de obter erros de estimativa relativamente pequenos e bastante satisfatórios em comparação aos padrões de acurácia de estimativas em projetos de software.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Como recomendação para pesquisas futuras fica, em primeiro lugar, aplicar o mesmo estudo em outras empresas e em um número maior de projetos de forma a obter uma amostra com maior representatividade da população. Acredita-se que com isso, mais algumas hipóteses de pesquisa seriam confirmadas. Também se sugere a condução de outros estudos sobre o mesmo tema, porém que utilizem método de pesquisa diferente, como por exemplo, um estudo qualitativo ou experimentos sobre a acurácia de estimativa sob efeito da manipulação de determinados fatores de controle. Interessante também seriam análises mais a fundo sobre a efetividade de estimativas por modelos paramétricos vs opinião especializada e estudos específicos sobre estimativas em apenas um dos modelos de desenvolvimento (adaptativo ou preditivo).

6 REFERÊNCIAS

ABDEL-HAMID, T. Adapting, Correcting and Perfecting software Estimates: A Maintenance Metaphor. EUA: IEEE Computer, 1993.

ABES (Associação Brasileira das Empresas de Software). Mercado Brasileiro de software Panorama e Tendências 2009, 2009. Disponível em: <http://www.abes.org.br/arquivos/MercadoBR-2009-Resumo_Exec.pdf>. Acesso em 15/05/2010.

ATTARZADEH, I.; OW, S. Proposing a new Software Cost Estimation Model Based on Artificial Neural Networks. EUA: IEEE, 2010.

BECK, K. Extreme Programming Explained – Embrace Change. EUA: Addison Wesley, 2000.

BECK et al. Manifesto for Agile Software Development, 2001. Disponível em: <<http://agilemanifesto.org/>>. Acesso em 30/09/2010.

BERKUN, S. The Art of Project Management. EUA: O'Reilly, 2005.

BOEHM, B. Software Engineering Economics. EUA: Prentice Hall, 1981.

BOEHM et al. COCOMO II Model Definition Manual. EUA: University of Southern California Center for Systems and Software Engineering, 2000. Disponível em <http://csse.usc.edu/csse/research/COCOMOII/cocomo2000.0/CII_modelman2000.0.pdf>. Acessado em 26/03/2011.

BOEHM, B.; ABTS, C.; CHULANI, S. Software development cost estimation approaches – A survey. EUA: Annals of Software Engineering, 2000.

BOEHM, B; CLARK, C.; CHULANI, S. Calibrating the COCOMO II Post-Architecture Model. EUA: IEEE, 1998.

BOEHM, B; SULLIVAN, K. Software economics: status and prospects. Holanda: 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.

COCKBURN, A. Agile Software Development – The Cooperative Game. EUA: Addison Wesley, 2007.

COHN, M. Agile Estimating and Planning. EUA: Prentice Hall, 2006.

COMPUTERWORLD. Recession Causes Rising IT Project Failure Rates. Disponível em <http://www.computerworld.com/s/article/9134547/Recession_Causes_Rising_IT_Project_Failure_Rates>. Acesso em 17/02/2011.

COOPER, D; SCHINDLER, P. Métodos de Pesquisa em Administração. 7ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

CRAIG, S.; DOUGLAS, S. International Marketing Research. 2nd ed. Inglaterra: John Wiley & Sons, 2000.

DANCEY, C.; REIDY, J. Estatística sem matemática para Psicologia. Usando SPSS para Windows. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 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.

GEFEN, D.; WYSS, S.; LICHTENSTEIN, Y. Business Familiarity as Risk Mitigation in Software Development Outsourcing Contracts. MIS Quarterly Vol. 32 No 3, 2008.

GENUCHTEN, M. Why is Software Late? An Empirical Study of Reasons for Delay in Software Development. IEEE Transactions on Software Engineering, Vol 17, No 6, Junho 1991.

GOOF, S. Twenty Years of Better IT Estimating Software. EUA, 1999. Disponível em: <http://www.projectexperts.com/articles/estimating_sw.htm>. Acesso em 03/04/2011.

HAIR Jr., J. F. et al. Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAYKIN, S. Redes Neurais - Princípios e Práticas. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HILL, J.; THOMAS, L.; ALLEN, D. Experts estimates of task durations in software development projects. International Journal of Project Management, 2000.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Why Software fails, 2005. Disponível em: <<http://www.spectrum.ieee.org/computing/software/why-software-fails>>. Acesso em 15/05/2010.

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.

IFPUG (International Function Point Users Group). About Function Point Analysis. Disponível em <<http://www.ifpug.org/about/about.htm>>. Acessado em 03/04/2011.

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. *EUA: The Journal of Systems and Software*, 2002.

JØRGENSEN, M.; MOLØKKEN-ØSTVOLD, K. A Review of Surveys on Software Effort Estimation. *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. Practical Guidelines for Expert-Judgment-Based Software Effort Estimation. *IEEE Software*, 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. *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.

KITCHENHAM, B.; STENSRUD, E.; FOSS, T.; MYRTVEIT, I. A Further Empirical Investigation of the Relationship Between MRE and Project Size. *Empirical Software Engineering*, 2003.

KOCHE, J. *Fundamentos de Metodologia Científica*. Editora Vozes, 2000.

KOTEN, C.; GRAY, A. Bayesian statistical effort prediction models for data-centred 4GL software development. *Holanda: Information and Software Technology*, 2006.

KROLL, P.; KRUCHTEN, P. *The Rational Unified Process Made Easy. A Practitioner's Guide to the RUP*. *EUA: Addison-Wesley*, 2003.

LEE, G.; XIA, W. Toward Agile: An Integrated Analysis of Quantitative and Qualitative Field Data on Software Development Agility. *MIS Quarterly* Vol. 34 No 1, 2010.

LEDERER, A.; PRASAD, J. Causes of Inaccurate Software Development Cost Estimates. *EUA: The Journal of Systems and Software*, 1995.

LEWIS, J. *Fundamentals of Project Management*. Fourth Edition. *EUA: WorkSmart*, 2007.

MACDONELL, S.; SHEPPERD, M. Combining techniques to optimize effort predictions in software project management. EUA: The Journal of Systems and Software, 2003.

MALHOTRA, N. Pesquisa em Marketing: uma orientação aplicada. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M^a. Fundamentos de metodologia científica. São Paulo: Atlas 5^a ed., p. 311, 2003.

MATTAR, F. N. Pesquisa de Marketing. São Paulo: Atlas, 2001.

MCCONNELL, S. Software Estimation. EUA: Microsoft Press, 2006.

MERTES, K. Calibration of the Checkpoint model to the Space and Missile Systems Center Software Database. Tese. EUA: Air force Institute of Technology, 1996.

MORGENSHTERN, O.; RAZ, T.; DVIR, D. Factors affecting duration and effort estimation errors in software development projects. Holanda: Information and Software Technology, 2006.

NASA (National Aeronautics and Space Administration - EUA). Parametric Cost Estimating Handbook. EUA: Department of Defense, 1995. Disponível em <<http://cost.jsc.nasa.gov/pcehtml/pceh.htm>> Acesso em 30/03/2011.

OGC (Office of Government Commerce). PRINCE2. Disponível em <http://www.ogc.gov.uk/methods_prince_2.asp>. Acessado em 3/4/2011.

PMI (Project Management Institute). Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK). Quarta Ed. Project Management Institute, 2008.

PMI (Project Management Institute). Organizational Project Management Maturity Model (OPM3). Second Ed. Project Management Institute, 2008.

PMI (Project Management Institute). Practice Standard for Project Estimating. Project Management Institute, 2011.

PRICE SYSTEMS. The Next Generation in Software Estimating, 2002 Disponível em <http://www.pricesystems.com/white_papers/Next%20Generation%20SW%20Estimating%2002%20-Fad.pdf>. Acessado em 27/03/2011.

PUTNAM, L.; MYERS, W. Five Core Metrics. EUA: Dorset House Publishing, 2007.

QSM. Disponível em <<http://www.qsm.com>>. Acessado em 27/03/2011.

SAMPIERI, R; COLLADO, C; LUCIO, P. Metodologia de Pesquisa. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SCHWABER, K. Agile Project Management With Scrum. EUA: Microsoft Press, 2004.

SEER. Disponível em <<http://www.galorath.com/>>. Acessado em 26/03/2011.

SHENHAR, A. et al. Linking Project Management to Business Strategy. EUA: PMI, 2007.

SHEPPERD, M; SCHOFIELD, C. Estimating Software Project Effort Using Analogies. EUA: IEEE Transactions on Software Engineering, 1997.

SLAUGHTER et al. Aligning Software Processes with Strategy. MIS Quarterly Vol. 30 No 4, 2006.

SPR (Software Productivity Research). Disponível em <<http://www.spr.com/>>. Acessado em 27/03/2011.

STANDISH GROUP. Chaos Summary 2009. Disponível em <http://www1.standishgroup.com/newsroom/chaos_2009.php>. Acesso em 15/05/2010.

USC CSSE (University of Southern California Center for Systems and Software Engineering). Disponível em <http://csse.usc.edu/csse/research/COCOMOII/cocomo_main.html>. Acessado em 17/03/2011.

WIKIPEDIA. Delphi Method. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi_method> Acesso em 04/12/2010.

WITTIG, G.; FINNIE, G. Estimating software development effort with connectionist models. Holanda: Information and Software Technology, 1997.

ANEXO 1

RESEARCH

AN ANALYSIS OF FACTORS IMPACTING EFFORT AND DURATION
ESTIMATION ERROR IN SOFTWARE DEVELOPMENT PROJECTS

This research objective is to identify the factors that mainly contribute to minimize effort and duration estimation errors in software development projects. This study has an academic purpose and is intended for the elaboration of a dissertation for obtaining the Masters Degree in Business Administration from Pontificia Universidade Catolica do Rio Grande do Sul, Brazil (www.pucrs.br), supervised by Professor Leonardo Rocha de Oliveira, PhD (leo.oliveira@pucrs.br). The result of this research might eventually become a scientific paper published in a Congress and/or specialized Scientific Magazine. Thanks for taking your time to contribute for this study.

RESEARCHER INFORMATION

Name:	Juan O'Keeffe
E-mail:	
Phone:	

INSTRUCTIONS

- Respond the questionnaire for a specific software project on which you have previously worked on.
- Respond the questionnaire only for projects that have already been completed and that were not cancelled.
- Respond the questionnaire only if you were the project manager (or equivalent).
- Respond only for projects that were completed between 2008 and 2011.
- Please do not provide information that is considered confidential.
- Only the consolidated results of all researched projects will be published, not identifying individual projects or persons.
- If wanted, the study results can be provided to you when the work is completed.

RESPONDENT INFORMATION

Name (optional):	
E-mail (optional): (needed in case you'd like to receive the research results)	
Role:	
Academic status: (e.g.: Undergraduate student, Graduate, Master, PhD):	
Professional experience (years):	

ORGANIZATION INFORMATION

Company name:	
In which Company Unit was the project developed on? (Business Unit or other Company area)	
What are the Unit main products and services?	

PROJECT DATA

Select the development model used in the project:	
<input type="checkbox"/>	Predictive (requirements and plans detailed prior to the beginning of the project)
<input type="checkbox"/>	Adaptive (requirements and plans detailed throughout the project) E.g. Agile
<input type="checkbox"/>	Other (please inform which):

A - What was the initial ¹ duration ² estimate for the project (months)?	
B - What was the actual project duration (months)?	
Duration Estimation Error ((B-A)/B)*100	

C - What was the initial ¹ effort ³ estimate to execute the project (months)?	
D - What was the actual effort invested in the project (months)?	
Effort Estimation Error ((D-C)/D)*100	

¹ Consider "initial" as the estimate in the proposal that was approved by the client to start the project.

² In this questionnaire, "Duration" refers to the total calendar time elapsed from the start to end of the project (E.g.: Project was estimated in 12 months of duration, but the actual duration was 14 months).

³ In this questionnaire, "Effort" refers to the quantity of man-months required to execute the project (E.g.: 10 developers x 12 months of project duration = 120 months of effort).

Select one or more estimation techniques used to generate the effort and duration estimates.	
	Expert judgment (estimate provided by experienced team members based on their own perception. E.g.: Wideband Delphi, PERT, Planning Poker)
	Parametric Models (estimate generated by equations that have pre-defined parameters such as project size and team experience as input. E.g. COCOMO II)
	Other (please inform which)

Select your level of agreement with each of the following statements, considering the scale below:

1 = Strongly Disagree; 2 – Disagree; 3 – Neither agree, nor disagree; 4 – Agree; 5 = Strongly Agree; NA = Not applicable

- IMPORTANT: The term “estimates” refers to the effort and duration estimates in the proposal that was approved by the client to start the project.

	1	2	3	4	5	NA
Estimates were based in clear project objectives.						
Estimates were based in a clear and detailed project plan.						
Estimates were based in clear and detailed requirements.						
Estimates were based in clear and detailed design.						
Estimates were based in a clear mapping of the project critical path.						
There was little addition or changes in the project requirements throughout the project.						
Estimates were based in a clear mapping of all the professional classes that needed to be allocated in the project (e.g.: software developers, testers, project managers etc.)						
Estimates considered all of the phases in the project life-cycle, not only development phase.						
Estimates were based in a pessimistic scenario (many expected difficulties to execute the project).						
The project adopted a buffer in the estimates to support possible changes in requirements and other unexpected events.						
Different estimation techniques were used, comparing the different estimates and investigating differences amongst them.						
Estimates were done with the support from software packages specialized in project estimation.						
Estimates were naturally accepted by the business area and the client (there was no pressure to reduce them).						
The project team was formed by senior professionals with deep prior experience in the estimation and execution of software projects.						
The project team had deep prior experience in the technologies used in the project (e.g.: programming language, development tools, etc.).						
The project team had deep prior experience in the development of other projects in the same business area.						
The project team was motivated to deliver the project according to the effort and duration estimates that were agreed with the client.						
The project team had a good level of collaboration among the team members throughout the project.						
The client acted in a collaborative way with the project team during the project execution.						
External partners (e.g.: subcontractors, other teams of inter-related projects) acted in a collaborative way with the project team during the project execution.						
The organization acted in a collaborative way with the project team during the project execution.						
The project team tracked the estimates versus actuals throughout the project.						
The ability of delivering the project according to the effort and duration estimates had a high weight in the team members performance reviews.						
Requirements were prioritized with higher priority requirements being developed first.						
The project had the necessary resources (professionals, hardware, software etc.) when needed.						
The project had a low turnover (replacement of project professionals).						

Quality practices were used (design review, code review etc.) during the project.						
The client reviewed the project deliverables throughout the project.						
Project risks were tracked and mitigated throughout the project.						
The developed software was of low complexity (business rules, processing requirements, integration with other systems, database, availability requirements, security level etc.)						

In case the project had a duration estimation error¹ of more than 10% (above or below), what were the main reasons for that error in your opinion?

¹ Refers to the Duration Estimation Error calculated in the “Project Data” section

In case the project had an effort estimation error² of more than 10% (above or below), what were the main reasons for that error in your opinion?

² Refers to the Effort Estimation Error calculated in the “Project Data” section