

**DEFINIÇÃO DE UM PROCESSO DE MEDIÇÃO
DE SOFTWARE BASEADO EM SEIS SIGMA E
CMMI**

RAFAEL VARGAS MESQUITA DOS SANTOS

2007

RAFAEL VARGAS MESQUITA DOS SANTOS

**DEFINIÇÃO DE UM PROCESSO DE MEDIÇÃO DE SOFTWARE
BASEADO EM SEIS SIGMA E CMMI**

Dissertação apresentada ao Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Marcelo Silva de Oliveira

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA

Santos, Rafael Vargas Mesquita.

Definição de um processo de medição de software baseado em Seis Sigma e CMMI / Rafael Vargas Mesquita dos Santos. -- Lavras : UFLA, 2007.
177 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2007.

Orientador: Marcelo Silva de Oliveira.

Bibliografia.

1. Processo de software. 2. Qualidade de software. 3. Processo de medição de software. 4. Seis Sigma. 5. Delineamento experimental. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 005.14

RAFAEL VARGAS MESQUITA DOS SANTOS

**DEFINIÇÃO DE UM PROCESSO DE MEDIÇÃO DE SOFTWARE
BASEADO EM SEIS SIGMA E CMMI**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 04 de julho de 2007

Prof. Dra. Ana Liddy Cenni de Castro Magalhães Swquality

Prof. Dr. Joel Augusto Muniz UFLA

Prof. Dr. Guilherme Bastos Alvarenga UFLA

Prof. Dr. Marcelo Silva de Oliveira
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

À

Minha esposa Sabrina,

pelo amor e dedicação,

OFEREÇO.

Meus pais e meu irmão,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus. Pelo amor incondicional.

Agradeço a meu orientador, Prof. Marcelo de Oliveira, que sempre me apoiou em todos os momentos, e acreditou no trabalho. E ao amigo Eric Batista Ferreira, o qual esteve sempre pronto a ajudar sanando muitas dúvidas e dando ótimas sugestões ao trabalho.

À família Ágape, que sem citar nomes, foi importantíssima, não só no processo de elaboração da dissertação, mas em toda minha vida. Valeu mesmo galera. Não tem como esquecer tudo que vivemos juntos. Que Deus continue abençoando vocês sempre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES pela bolsa de estudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Problema de Pesquisa	10
1.2 Objetivos.....	11
1.3 Organização do Trabalho.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Produção de Software	14
2.2 Processo de Software.....	15
2.2.1 Processos	16
2.2.2 Modelo CMMI.....	18
2.2.3 Considerações Finais sobre o Tópico	33
2.3 Medição de Software	34
2.3.1 PSM.....	38
2.3.2 Seis Sigma	46
2.3.3 Controle Estatístico de Processo.....	70
2.3.4 Delineamentos Experimentais	78
2.4 Correspondência CMMI – Seis Sigma	95
3 METODOLOGIA.....	100
3.1 Pesquisa-Ação.....	100
3.2 Cronologia	101
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103
4.1 Resultados Metodológicos.....	103
4.1.1 Processo de Software e Processo de Medição	103
4.1.2 Correspondência CMMI - Seis Sigma - PSM.....	108

4.1.3 Processo de Medição de Software	125
4.2 Resultados de Análise de Dados	144
4.2.1 Projeto Piloto: Introdução.....	144
4.2.2 Projeto Piloto: Resultados.....	146
4.2.3 Considerações Finais sobre o Tópico	162
5 CONCLUSÃO	163
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	164
7 ANEXOS	168
Blocos	171
Atividades	171
Organização	171
8 GLOSSÁRIO	177

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 -Processo e seus Componentes.....	17
FIGURA 2 -CMMI – Representação por Estágio.....	20
FIGURA 3 -CMMI – Categorias de Processo no CMMI: Representação Contínua.....	21
FIGURA 4 -CMMI e a Melhoria de Previsibilidade, Controle e Efetividade.....	23
FIGURA 5 -Capacidade de Processo por Nível de Maturidade.....	24
FIGURA 6 -Capacidade, Maturidade, e Performance de um Processo, sob o ponto-de-vista Estatístico.....	28
FIGURA 7 -Modelo de Processo do PSM.....	40
FIGURA 8 -Dificuldade de Interpretação.....	46
FIGURA 9 -Exemplo de Comparação entre Níveis do Seis Sigma.....	48
FIGURA 10 -Exemplo de Performance do Seis Sigma.....	49
FIGURA 11 -Tradução do Nível de Qualidade para Linguagem Financeira.....	49
FIGURA 12 -Relação das Escalas 3σ e 6σ	55
FIGURA 13 -Relação das Porcentagens de Acertos para cada Nível Sigma.....	56
FIGURA 14 -Deslocamento da Média do Valor Nominal em $1,5\sigma$	57

FIGURA 15- Transformação de uma $N(\mu, \sigma^2)$ para um $N(0,1)$	58
FIGURA 16- Cálculo de Defeitos para Seis Sigma Centrado.....	59
FIGURA 17- Cálculo de Defeitos para Seis Sigma Deslocado para Direita.....	60
FIGURA 18- Cálculo de Defeitos para Seis Sigma Deslocado para Esquerda.....	61
FIGURA 19- Mapeamento entre Ferramentas Estatísticas X Fases do DMAIC.....	63
FIGURA 20- Exemplo de Utilização do DMAIC: Identificação dos Problemas.....	64
FIGURA 21- Exemplo de Utilização do DMAIC: Definir.....	65
FIGURA 22- Exemplo de Utilização do DMAIC: Medir.....	66
FIGURA 23- Exemplo de Utilização do DMAIC: Analisar.....	67
FIGURA 24- Exemplo de Utilização do DMAIC: Melhorar.....	68
FIGURA 25- Exemplo de Utilização do DMAIC: Controlar.....	69
FIGURA 26- Exemplos de Cartas de Controle.....	71
FIGURA 27- Processo Instável (ou Descontrolado Estatisticamente).....	74
FIGURA 28- Processo Estável (sob Controle Estatístico).....	75
FIGURA 29- O Método Científico.....	79
FIGURA 30- As Variáveis em um Experimento.....	81
FIGURA 31- Regra de Decisão para o Teste de F ao nível de $\alpha\%$ de Probabilidade.....	93

FIGURA 32- Teste de F ao nível de 5% de Probabilidade para o Conjunto W.....	94
FIGURA 33- Processo de Software e Processo de Medição de Software.....	104
FIGURA 34- Analogia da Engrenagem.....	105
FIGURA 35- Correspondência entre CMMI - Seis Sigma: Resumo.....	109
FIGURA 36- Características dos Dados.....	112
FIGURA 37- As Etiquetas de um Dado e a Visão do PSM e da Estatística.....	113
FIGURA 38- Exemplo de uma Medida no PSM e seus Atributos e Estruturas.....	113
FIGURA 39- Fatores em um Delineamento Experimental.....	114
FIGURA 40- Tratamentos em um Delineamento Experimental.....	114
FIGURA 41- Exemplo de Tratamento.....	115
FIGURA 42- Dificuldade de Interpretação.....	116
FIGURA 43- Metodologia de Utilização dos Termos do PSM Insight Estatisticamente.....	120
FIGURA 44- Exemplo da Metodologia de Utilização dos Termos do PSM Insight Estatisticamente.....	121
FIGURA 45- Exemplo Detalhado da Correspondência: Fatores Hierarquizados.....	122
FIGURA 46- Exemplo Detalhado da Correspondência: Fatores Fatoriais.....	123
FIGURA 47- Característica da Etiqueta dos Dados Coletados.....	124
FIGURA 48- Seqüência de Utilização do Processo de Medição.....	126
FIGURA 49- Processo de Medição de Software.....	128
FIGURA 50- Legenda do Processo de Medição de Software.....	129

FIGURA 51-Planilha Geral: Início.....	140
FIGURA 52-Planilha Geral: Mapeamento.....	141
FIGURA 53-Planilha Geral: Indicadores.....	141
FIGURA 54-Planilha Geral: Gráficos de Controle.....	141
FIGURA 55-Planilha Geral: Delineamentos Experimentais.....	141
FIGURA 56-Planilha Geral: Controle <Medida>.....	142
FIGURA 57-Planilha Geral: DOE <Medida>.....	143
FIGURA 58-Definir Problema.....	147
FIGURA 59-Formar Equipe.....	148
FIGURA 60-Definir Medições.....	149
FIGURA 61-Definir Efeitos de Tratamentos.....	152
FIGURA 62-Conduzir Medições: Definir Indicadores.....	153
FIGURA 63-Determinar Capacidade do Processo: Medida Esforço.....	154
FIGURA 64-Determinar Causas.....	157
FIGURA 65-Identificar Mudanças: Delineamento para Medida Esforço.....	159
FIGURA 66-Identificar Mudanças: Causas Comuns.....	160

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 -Melhorias do CMMI e seus resultados.....	23
TABELA 2 -Tradução CMMI – Estatística.....	25
TABELA 3 -Definições de Performance e Capacidade.....	26
TABELA 4 -Inclusão da Área de Medição e Análise no Nível 2 do CMMI (Representação por Estágio).....	29
TABELA 5 -Área de Medição e Análise – Grupo de Suporte do CMMI (Representação Contínua).....	30
TABELA 6 -Metas Específicas da Área de Medição e Análise do CMMI.....	31
TABELA 7 -Subpráticas da Área de Medição e Análise do CMMI, que Recomendam o Uso de Metodologia Estatística.....	39
TABELA 8 - Problemas e Propostas de Soluções.....	38
TABELA 9 -Classificação das Necessidades de Informação.....	41
TABELA 10 -Comparação entre os Perfis de Alguns Patrocinadores do Seis Sigma.....	54
TABELA 11 -Quantidades de Defeitos em para Diferentes Escalas Sigma com Média Centrada e Deslocada em 1,5 Sigma.....	61
TABELA 12 -Importância das Causas de Variação no Processo.....	73
TABELA 13 -Limites Naturais do Processo versus Capacidade do Processo....	76
TABELA 14 -Fórmula: Índice de Capacidade de Processo Cp.....	77
TABELA 15 -Fórmula: Índice de Capacidade do Processo Cpk.....	77

TABELA 16 -Quadro de Análise de Variância.....	85
TABELA 17 -Quadro das Observações.....	87
TABELA 18 -Quadro de Análise de Variância – Exemplo.....	89
TABELA 19 -Quadro de Análise de Variância – Estimativa de Variância.....	91
TABELA 20 -Correspondência do Seis Sigma na PA de Medição e Análise.....	96
TABELA 21 -Correspondência do Seis Sigma na PA de Desempenho de Processo Organizacional.....	97
TABELA 22 -Correspondência do Seis Sigma na PA de Gerencia Quantitativa de Projeto.....	99
TABELA 23 -Detalhamento da Analogia das Engrenagens.....	106
TABELA 24 -Correspondência entre PSM e Seis Sigma.....	110
TABELA 25 -Correspondência Geral entre PSM e Seis Sigma.....	116
TABELA 26 -Exemplo: Correspondência Geral entre PSM e Seis Sigma.....	117
TABELA 27 -Legenda para Correspondência Geral entre PSM e Seis Sigma.....	116
TABELA 28 -Descrição das Atividades do Processo de Medição.....	129
TABELA 29 -Representação da Análise de Variância.....	158

RESUMO

SANTOS, Rafael Vargas Mesquita. **Definição de Um Processo de Medição de Software Baseado em Seis Sigma e CMMI**. 2007. 177 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

Na melhoria contínua de processos são comumente usadas ferramentas estatísticas. Particularmente nos processos de software, a forma com que os dados são armazenados, muitas vezes, dificulta a realização dessas análises. Nesse contexto, o modelo CMMI (*Capability Maturity Model Integration*) é utilizado para definição de processo de software, a metodologia Seis Sigma se destaca em processos de medição e a ferramenta *Practical Software and Systems Measurement Insight* (PSM Insight) é utilizada para a organização de dados. Por meio desta dissertação apresenta-se a proposta de um processo de medição baseado em CMMI, Seis Sigma e PSM. O processo proposto revela a correspondência existente entre eles.

¹ **Orientador:** Prof. Dr. Marcelo Silva de Oliveira – UFLA.

ABSTRACT

SANTOS, Rafael Vargas Mesquita. **Definition of a Process for Software Measurement Based on Six Sigma and CMMI**. 2007. 177 p. Dissertation (Master in Statistics and Agricultural Experimentation) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.²

Statistical tools are usually used in the continuous process improvement. Particularly in the software process, the way the data are stored sometimes makes these analyses tricky. In this context, CMMI (Capability Maturity Model Integration) is used for defining software processes, the Six Sigma methodology is used for defining measurement processes and the Practical Software and Systems Measurement Insight (PSM Insight) tool is used for data organization. This work presents a proposal of measurement process based on CMMI, Six Sigma and PSM. The considered process reveals an existing correspondence between them.

² Adviser: Prof Dr. Marcelo Silva de Oliveira – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A produção de software no mundo tem se tornado vital para a maioria dos sistemas produtivos existentes. O auxílio oferecido por diversos softwares, voltados às mais diferentes áreas, fortalece e ressalta a importância desse processo produtivo.

Praticamente todos os países, atualmente dependem de complexos sistemas com base em computadores. Cada vez mais os produtos incorporam, de algum modo, computadores e software de controle. Nesses sistemas, o software representa uma grande e crescente proporção do custo total do sistema. Por isso, produzir software de um modo que apresente uma boa relação custo-benefício é essencial para o funcionamento das economias nacional e internacional.

Melhorar continuamente é uma questão de sobrevivência em um mundo globalizado e altamente competitivo. No âmbito organizacional, o que se deseja é minimizar os custos, aumentar a produtividade e fornecer um produto com qualidade suficiente para diferenciar-se dos demais produtos concorrentes, qualquer que seja a área de atuação da organização.

A Engenharia de Software é uma disciplina da Engenharia, cuja meta é o desenvolvimento de sistemas de software com boa relação custo-benefício. Esta disciplina da engenharia se ocupa de todos os aspectos da produção de software, com a finalidade de contribuir para um desenvolvimento de software com qualidade.

Seguindo esta linha, surgem diversos modelos de qualidade de software, dentre eles o mais importante: CMMI (*Capability Maturity Model Integration*). Neste são encontradas boas práticas para o desenvolvimento de sistemas de software.

Dentre as boas práticas deste Modelo de Referência encontra-se a necessidade da aplicação de um Processo de Medição de Software a Processos de Desenvolvimento de Software com a finalidade de contribuir para a sua estabilidade (previsibilidade) e melhoria.

Qualidade = Estabilidade + Melhoria

Nesse contexto, observa-se uma grande dificuldade das empresas de software, em especial no Brasil, em aplicar Controle Estatístico e Melhoria de Processo em seus Processos de Desenvolvimento de Software que possibilitem o aumento da qualidade, o que se confirma com o pequeno número de empresas no nível 4 (Processo Gerenciado Quantitativamente) e nível 5 (Processo em Melhoria Contínua) do CMMI.

1.1 Problema de Pesquisa

Considerando a dificuldade de “comunicação” entre a Engenharia de Software e a Estatística, ou seja, a aplicação significativa de um Processo de Medição, de base Estatística, a Processos de Desenvolvimento de Software, tem-se uma principal pergunta a ser respondida:

- Como estabelecer uma “**comunicação**” entre a Engenharia de Software e a Estatística, facilitando a aplicação de técnicas conceituadas desta última a Processos de Desenvolvimento de Software?

Como resposta para tal pergunta tem-se:

- **Traduzindo** conceitos da Engenharia de Software para termos Estatísticos, e vice e versa.

Diante da necessidade real e da dificuldade em se promover Controle Estatístico de Processo e Melhoria de Processo, a tradução aqui proposta concretiza-se por meio do Processo de Medição de Software proposto nesta dissertação.

1.2 Objetivos

Diante de todas as considerações anteriormente expostas, tem-se como objetivo geral desta dissertação propor um Processo de Medição de Software que facilite o Controle Estatístico e Melhoria de Processo e, conseqüentemente, proporcione maior qualidade ao Processo de Desenvolvimento de Software.

Para que tal objetivo seja alcançado, alguns objetivos específicos tiveram que ser perseguidos:

- Correspondência entre termos do PSM e conceitos Estatísticos;
- Elaboração de um Processo Prático de Medição para Empresas de Software.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em 6 tópicos, 5 anexos e o glossário. Neste tópico de Introdução situa-se o contexto do trabalho e descrevem-se os principais objetivos.

No tópico 2 é apresentada a Revisão Bibliográfica, que inclui:

- Produção de Software: mostra uma visão sobre o crescimento da Produção de Software no mundo e da importância da qualidade em seu processo produtivo;
- Processo de Software: a partir da importância da qualidade citada, tópico apresenta o modelo CMMI como o principal modelo de qualidade utilizado pelas empresas de software, que embasou a construção do Processo de Medição proposto nesta dissertação;
- Medição de Software: destaca a importância da medição para o alcance da qualidade no Processo de Software e a caracterização das principais abordagens quantitativas consideradas para o desenvolvimento do Processo de Medição proposto, que são o modelo PSM e a Metodologia Estatística do Seis Sigma;

- Correspondência entre CMMI – Seis Sigma: apresenta o mapeamento entre as áreas de processo e subpráticas do CMMI para com as atividades do Seis Sigma.

No tópico 3 a Metodologia é apresentada. A Metodologia utilizada foi uma forma simplificada de Pesquisa-Ação, que envolve uma contemplação teórica ocorrendo simultaneamente à resolução de um problema prático, neste caso o Projeto Via Digital.

No tópico 4 os Resultados são discutidos, estando divididos em dois principais sub-itens:

- Resultados Metodológicos: todas as atividades necessárias para a elaboração do processo de medição proposto nesta dissertação são descritas neste tópico. A correspondência realizada entre o CMMI - Seis Sigma – PSM é explicada. O processo de medição propriamente dito é exposto junto a todas as atividades por ele definidas, bem como os artefatos ou documentos gerados por estas atividades;
- Resultados de Análise de Dados: os resultados de uma aplicação piloto do processo de medição definido por esta dissertação são explicados. O projeto escolhido para a utilização do processo de medição foi o Via Digital, cujos dados foram completados por simulação.

No tópico 5 são relatadas as Conclusões obtidas no trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

No Anexo A é apresentado o modelo de artefato para documentação resumida das análises de variância realizadas pelo Processo de Medição de Software. No Anexo B esboça-se um exemplo do artefato de análise resumida para a medida esforço. No Anexo C são apresentados os dados de simulação para a medida esforço na finalidade de utilização piloto do Processo de Medição de Software proposto. No Anexo D são apresentados os cálculos de defeitos para

diferentes níveis do Seis Sigma. No Anexo E é apresentado o quadro contendo constantes para construção de gráficos de controle.

No Glossário são definidos alguns termos importantes para o melhor entendimento da dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os principais conceitos teóricos necessários ao entendimento e confecção deste trabalho são apresentados a seguir.

2.1 Produção de Software

O setor de software no mundo tem impressionado pelo seu dinamismo recente. Ao contrário do previsto por alguns autores como Baumol et al. (1991), os quais vislumbraram um crescimento pequeno da área em função da complexidade inerente a softwares, esse setor tem apresentado elevado índice de crescimento de sua produtividade, graças a dois fatores. Em primeiro lugar, a emergência da Engenharia de Software permitiu a adoção de técnicas de desenvolvimento de software efetivas (eficientes e eficazes), reduzindo seus custos de produção e manutenção (Pondé, 1993). Em segundo lugar, o surgimento de máquinas com maior capacidade de processamento e armazenamento de informações possibilitou a substituição de mão-de-obra por equipamento, ao mesmo tempo em que permitiu a utilização de linguagens de mais alto nível.

No caso brasileiro, a reestruturação tem-se acelerado nos últimos anos, principalmente com a difusão do uso de microcomputadores e de comunicação via Internet, influenciando diretamente na economia nacional.

Ao longo das últimas décadas, os produtos de software têm sofrido um considerável crescimento de tamanho e complexidade e, à medida que isto ocorre, o número de problemas enfrentados durante o desenvolvimento também aumenta. Com o intuito de obter produtos com os níveis desejáveis de qualidade, a última década assistiu a uma mudança de enfoque com relação à garantia da qualidade. Tem-se, então, uma nova abordagem, na qual o foco principal das atenções está no próprio processo produtivo, visto que este tem se mostrado o

fator determinante para o alcance da qualidade do produto final. A partir desta mudança de foco, intensificou-se a pesquisa sobre o processo de desenvolvimento. Várias normas e modelos de qualidade foram descritos para auxiliar na definição e melhoria de processos de software.

Dentre os modelos de qualidade de software mais importantes, pode-se citar o CMMI (*Capability Maturity Model Integration*) que nomeia tanto um projeto do SEI (*Software Engineering Institute*) quanto os modelos resultantes deste projeto. O Projeto CMMI pode ser traduzido como Modelo Integrado de Maturidade e Capacidade.

Para alcançar níveis cada vez mais altos de qualidade torna-se necessário melhorar cada etapa do ciclo de vida do software (Oman, 1997) e, para tornar isto possível, dados quantitativos que descrevam a realidade do processo precisam ser obtidos e devidamente analisados. Neste contexto, medições de software têm se mostrado o fator-chave para o aumento da qualidade dos processos, pois são a base para a identificação de suas forças e fraquezas, facilitando a visualização das oportunidades de melhoria.

Entretanto, o uso de medições apenas provê dados referentes às entidades do mundo real envolvidas na execução dos projetos. Serão as ações tomadas, a partir dos resultados obtidos que farão com que a qualidade dos produtos e o desempenho do processo aumentem. Para que uma abordagem de melhoria de processos baseada no uso de medições obtenha êxito, porém, a escolha das medições, sua definição consistente, o correto levantamento dos dados e a elaboração de um mecanismo de análise dos resultados devem ser devidamente estudados.

2.2 Processo de Software

O crescimento da modalidade Fábrica de Software entre as empresas de software tem aumentado a busca por processos que tragam benefícios. Apesar do

custo elevado para se implantar processos, os resultados apresentados por quem já implantou algum modelo ou norma de qualidade servem como incentivo para os que ainda não tomaram esta iniciativa.

No tópico seguinte apresenta-se uma visão geral de Processos e do Modelo CMMI.

2.2.1 Processos

As engenharias comumente descrevem processos como sendo diversas operações pelas quais passa um produto até ele ficar pronto (Souza, 2004).

Algumas definições de processo são apresentadas a seguir:

- A NBR define processo como um conjunto de atividades inter-relacionadas, que transforma entradas em saídas (Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 1994);
- O IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) define Processo como uma seqüência de passos realizados para um determinado propósito (IEEE, 1990).

Esta definição pode ser aplicada a qualquer atividade, seja ela da manufatura ou não.

Paulk et al. (1995) define Processo de Software como um conjunto de atividades, métodos, práticas e tecnologias que as pessoas utilizam para desenvolver e manter software e seus produtos relacionados. A Figura 1 ilustra esta definição.

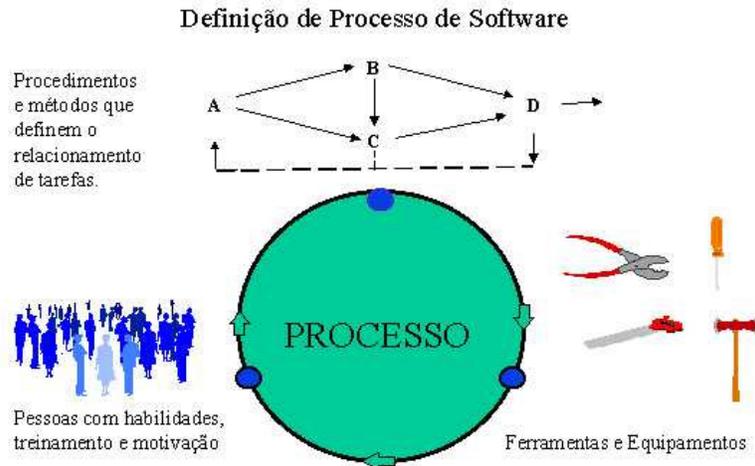


FIGURA 1 Processo e seus componentes
Fonte: Paulk et al. (1995)

Ainda segundo Paulk et al. (1995), considerando que o software é resultado do processo de desenvolvimento, espera-se que a sua qualidade seja altamente influenciada pela qualidade do processo que o gera.

Focando-se somente no produto, deixam-se de lado assuntos relacionados com a escalabilidade, ou seja, o aumento do tamanho da equipe possui o risco de se perder qualidade. Além disso, não há a preocupação de como realizar melhor as tarefas.

Focando-se no processo, prevê-se a repetição de resultados, tendências futuras para os projetos, mantendo as características do produto. Um processo bem controlado evita surpresas e minimiza os riscos (Paulk et al., 1995).

2.2.2 Modelo CMMI

De acordo com Paulk et al. (1995) “para melhorar a capacitação da indústria de software dos Estados Unidos, foi fundado o SEI, *Software Engineering Institute* (Instituto de Engenharia de Software), junto com a *Carnegie-Mellon University*. O resultado dessa iniciativa materializou-se no desenvolvimento do CMM – modelo de melhoria de processo, baseado nos princípios de Controle Estatístico da Qualidade, estabelecidos inicialmente por Shewhart, desenvolvidos e demonstrados por Deming e Juran, e no conceito de Maturidade da Gestão de Qualidade, estabelecido por Crosby sendo adaptado para os processos de software por Humphrey e outros”.

Vários modelos foram desenvolvidos pelo SEI, para diversas atividades. Diante da dificuldade de algumas organizações em implantar esses diversos modelos, surge o CMMI, um modelo integrado de maturidade e capacidade. Seu propósito principal, além, é claro, de apresentar um entendimento mais claro no que diz respeito à interpretação do modelo, é também o de reduzir custos de implementação de melhoria de processo.

O CMMI é uma evolução do CMM e procura estabelecer um modelo único para o processo de melhoria corporativo, integrando diferentes modelos e disciplinas.

Em 2006 foi publicada a versão 1.2 do CMMI denominada CMMI-DEV Version 1.2 (*CMMI for Development*) (SEI, 2006).

A estrutura (*framework*) do CMMI é constituída pela definição de 25 áreas de processo – conjunto de atividades relacionadas que, se realizadas adequadamente, atendem um conjunto de metas consideradas importantes para aumentar a capacidade desse processo.

O CMMI possui duas representações: "contínua" ou "por estágios". Estas representações permitem que a organização utilize diferentes caminhos para a melhoria, de acordo com seu interesse.

Representação Contínua

Possibilita a organização priorizar melhorias para atender aos objetivos de negócio da empresa. É caracterizada por Níveis de Capacidade (*Capability Levels*).

Representação por Estágios

Disponibiliza uma seqüência pré-determinada para melhoria baseada em estágios que não deve ser desconsiderada, pois cada estágio serve de base para o próximo. É caracterizada por Níveis de Maturidade (*Maturity Levels*).

Na representação por estágio (Figura 2), as 22 áreas de processo do modelo estão agrupadas em quatro níveis de maturidade que indicam uma ordem crescente de melhoria:

- Nível 1 – Inicial (nível mais baixo): processos imprevisíveis, pouco controlados e reativos;
- Nível 2 – Gerenciado: processos são caracterizados por Projeto e as ações são freqüentemente reativas;
- Nível 3 – Definido: processos são caracterizados para a Organização e são proativos;
- Nível 4 – Gerenciado Quantitativamente: processos são medidos e controlados. Processos previsíveis devido à **eliminação de causas especiais de variação** no processo, mediante **rigoroso controle estatístico**;
- Nível 5 – Otimização: foco contínuo na Melhoria de Processos. Melhoria possível pela **eliminação de causas comuns de variação** nos processos estáveis, previsíveis, baseada nos *feedbacks* quantitativos dos processos e produtos.

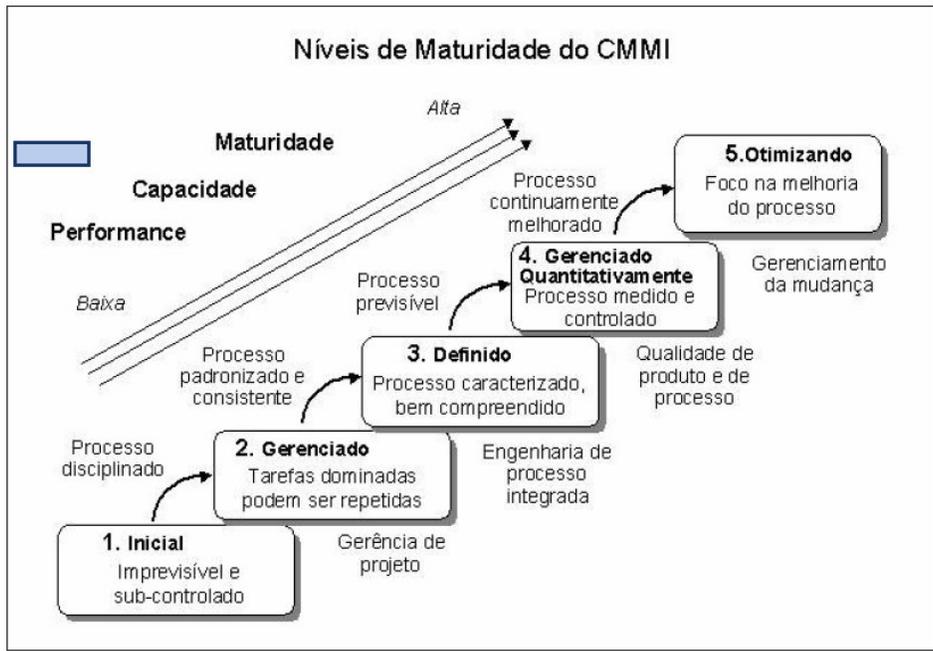


FIGURA 2 CMMI – Representação por Estágio

Na representação contínua, as mesmas 22 áreas de processo estão distribuídas em quatro grupos: gestão de processos, gestão de projetos, engenharia e suporte (Figura 3).

Fonte: Clênio Salviano, CenPRA, Campinas, 2005

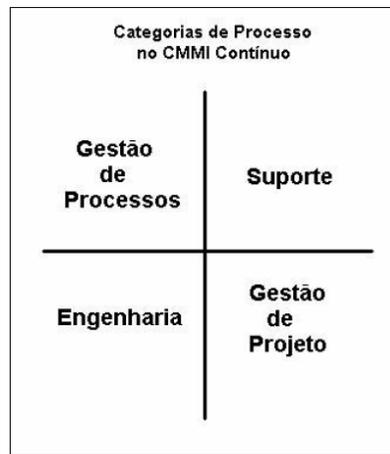


FIGURA 3 CMMI – Categorias de Processo no CMMI: Representação Contínua
Fonte: Oliveira (2006)

De acordo com Oliveira (2006) “as atividades correspondentes a cada área de processo podem ter suas capacidades de execução classificadas em um dos seis níveis de capacidade de processo, os quais (como na representação por estágio) indicam uma ordem crescente de melhoria” (p. 24):

- Nível 0 – Incompleto; satisfaz apenas alguns objetivos específicos da área de processo;
- Nível 1 – Executado; que satisfaz todos os objetivos específicos da área de processo;
- Nível 2 – Gerenciado (processo planejado);
- Nível 3 – Definido (processo padronizado);
- Nível 4 – Gerenciado Quantitativamente (processo previsível);
- Nível 5 – Otimizando (processo em melhoria contínua).

Os níveis 2 a 5 de capacidade da área de processo são similares aos níveis 2 a 5 de maturidade da organização da representação por estágio, com a

ressalva de que, nesta última, cada nível diz respeito a um conjunto de áreas de processo pré-definidos (e não a uma área de processo em particular).

2.2.2.1 Benefícios na Melhoria de Processos pelo Uso do CMMI

De acordo com Paulk et al. (1995) a maturidade do processo de software da organização ajuda a prever a capacidade de um projeto em atingir seus objetivos. Os projetos de software em seus níveis iniciais, ou seja, antes da melhoria, têm grandes variações na execução das metas de custo, prazo e qualidade. Segundo Oliveira (2006) com a implantação do CMMI, são esperadas as seguintes melhorias ilustradas na Figura 4:

- Previsibilidade: a 1ª melhoria esperada quando a organização amadurece é na previsibilidade – a diferença entre os resultados estimados e os resultados observados diminui (não-tendenciosidade). Um exemplo seria um prazo real de desenvolvimento de software, mais próximo do prazo estimado;
- Controle: a 2ª melhoria é no controle – a variabilidade dos resultados observados ao redor dos resultados estimados diminui (variância mínima). Por exemplo: datas de entrega de projetos similares variam pouco;
- Efetividade: a 3ª melhoria, na efetividade, indica que os resultados estimados, como um todo, melhoram; custo e tempo de desenvolvimento diminuem e a produtividade e qualidade aumentam, por causa da redução do retrabalho na correção de erros (p. 25).

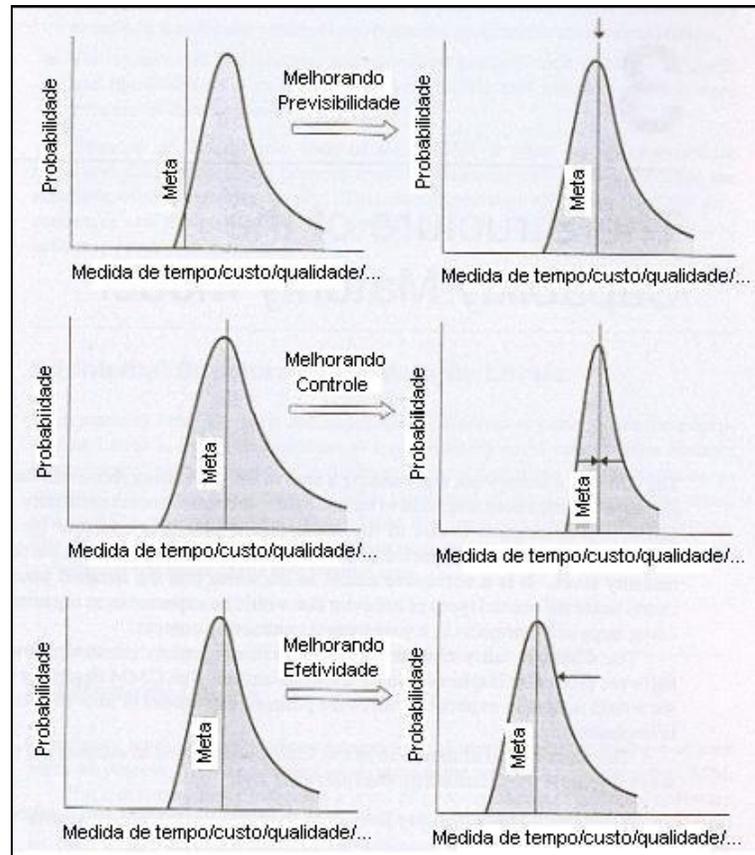


FIGURA 4 CMMI e a Melhoria de Previsibilidade, Controle e Efetividade
Fonte: Oliveira (2006) adaptado de Paulk et al. (1995)

Podem-se identificar duas principais melhorias, bem como o conseqüente resultado da aplicação destas na implantação do CMMI em processos de desenvolvimento de software de uma organização. Veja Tabela 1.

TABELA 1 Melhorias do CMMI e seus resultados

Melhoria	Resultados
Na estimação de prazos	Planos mais realistas, permitindo planejamentos de prazos maiores
Na predição dos resultados	Saídas dos projetos tornam-se mais previsíveis

Fonte: Adaptado de Oliveira (2006)

A Figura 5 é uma reorganização da Figura 4.

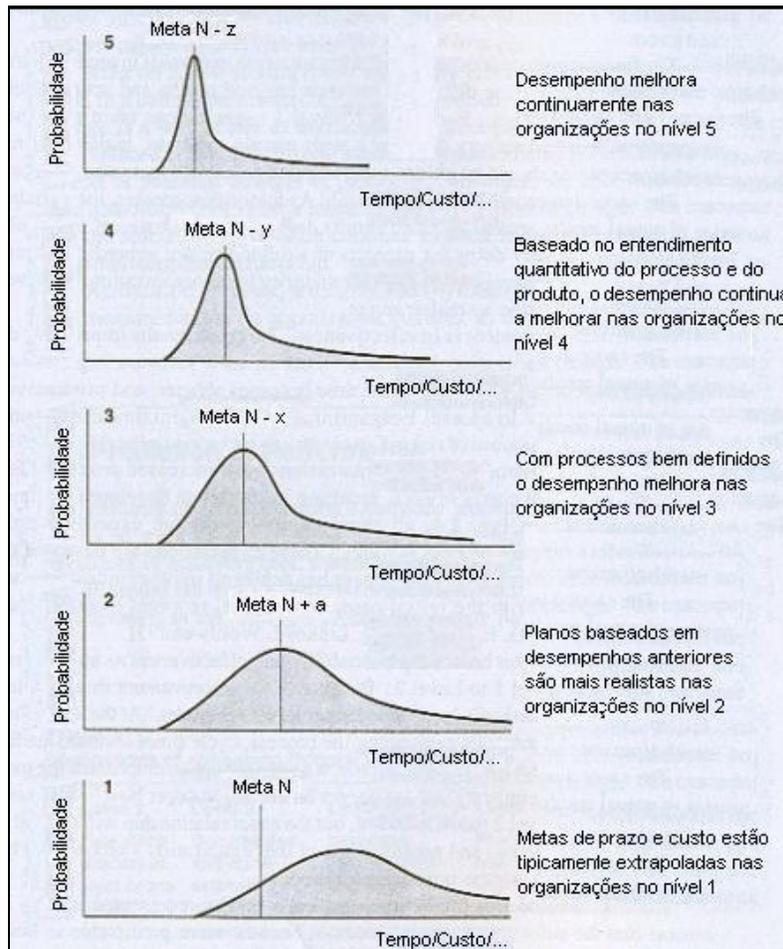


FIGURA 5 Capacidade de Processo por Nível de Maturidade

Fonte: Oliveira (2006) adaptado de Paulk et al. (1995)

De acordo com Oliveira (2006) pode-se observar uma correspondência entre conceitos comumente utilizados no CMMI e suas traduções estatísticas.

A medição e análise assumem papel de relevância no modelo CMMI – este incorpora a medição no próprio conceito, visto que a

definição de maturidade implica na relação capacidade (resultados estimados) versus desempenho (resultados observados) do processo, ao longo dos projetos. Em função desta definição estatística dos conceitos fundamentais do CMM, podemos traduzir (ou corresponder) CMM e Estatística. Quatro são os conceitos básicos utilizados pelo CMM que têm imediata correspondência estatística: processo, maturidade, capacidade, e performance do processo. A Tabela 2 apresenta as definições destes conceitos sustentadas por Paulk et al. (1994), e, em seguida, a correspondência estatística (p. 26).

TABELA 2 Tradução CMMI – Estatística

Definição	Significado no CMMI	Tradução Estatística
Processo	Seqüência de etapas desenvolvida para realizar um dado propósito	Um dado conjunto de variáveis que caracterizam a vida útil de um software
Maturidade	Extensão na qual um processo específico é explicitamente definido, gerenciado, medido, controlado, e o quanto ele é efetivo	Distribuição de probabilidades conjunta de um conjunto de variáveis que caracterizam o processo
Capacidade	Resultados esperados que podem ser obtidos como consequência da realização do processo de software	O valor médio da distribuição de probabilidade
Performance	Os resultados que, de fato, foram alcançados pelo processo	Valores realizados das variáveis que caracterizam tal processo, para um dado projeto

Fonte: Adaptado de Oliveira (2006) apud Paulk et al. (1994)

De acordo com as definições observadas no quadro anterior, é possível chegar à conclusão mostrada no Tabela 3:

TABELA 3 Definições de Performance e Capacidade

Definição	Foco
Performance	Resultados alcançados
Capacidade	Resultados esperados

Fonte: Adaptado de Oliveira (2006) apud Paulk et al. (1994)

Na Figura 6, os conceitos mostrados pela Tabela 2 são esboçados de forma gráfica, visando facilitar sua compreensão. Nesta figura, as variáveis medidas estão sendo analisadas de uma a uma. Estas sempre serão avaliações de resultados (prazo, custo, característica de qualidade etc), que são registrados no eixo das ordenadas. Uma sucessão de projetos semelhantes está representada no eixo das abscissas.

Oliveira (2006) expõe algumas conclusões obtidas a partir da consideração das definições anteriormente mencionadas, bem como suas traduções estatísticas.

Distribuição de probabilidades esperada para cada variável, num dado projeto, é a maturidade daquele processo para aquela variável. Seus valores esperados (intervalos estatísticos de estimação, predição, tolerância, por exemplo) representam a capacidade do processo para aquela variável.

Quanto mais maduro um processo, menos variável em torno do valor médio é a capacidade daquele processo, isto é, mais a performance acontecerá perto do valor médio predito.

Estatisticamente, maturidade então tem ligação com o desvio-padrão da variável medida, e performance tem ligação com a média. Maturidade está relacionada ao inverso do desvio-padrão, e capacidade está diretamente relacionada com a média.

Quanto mais capaz o processo, mais o intervalo de valores esperados é melhor (menor prazo, menor custo, maior qualidade, menor número de erros) (p. 29).

Considerando a correspondência realizada entre CMMI e conceitos estatísticos, pode-se chegar a duas principais conclusões:

- Primeiramente deve-se trabalhar na estabilização do processo. Ou seja, em seu controle estatístico. Por meio dessa estabilização descobre-se em que grau ou nível de maturidade o processo se encontra. Dessa maneira, foca-se primeiro em conhecer a maturidade do processo, considerando sua estabilização. Nesta dissertação, considerando o processo de medição proposto, a estabilização é atingida por meio de gráficos de controle;
- Posteriormente, os esforços são concentrados em aumentar essa maturidade (diminuindo a variabilidade). Aumentar a maturidade neste caso depende do aumento da capacidade média do processo. Segundo o processo de medição aqui proposto, essa melhoria pode ser conseguida por meio de delineamentos experimentais.

A utilização de métodos estatísticos para estabilização e melhoria do processo será melhor trabalhada no decorrer deste tópico.

Outro fator importante a ser observado é a origem conceitual do CMM, a qual é embasada fortemente em conceitos estatísticos o que justifica a posterior correspondência entre CMMI – Seis Sigma – PSM, desenvolvida no tópico de resultados.

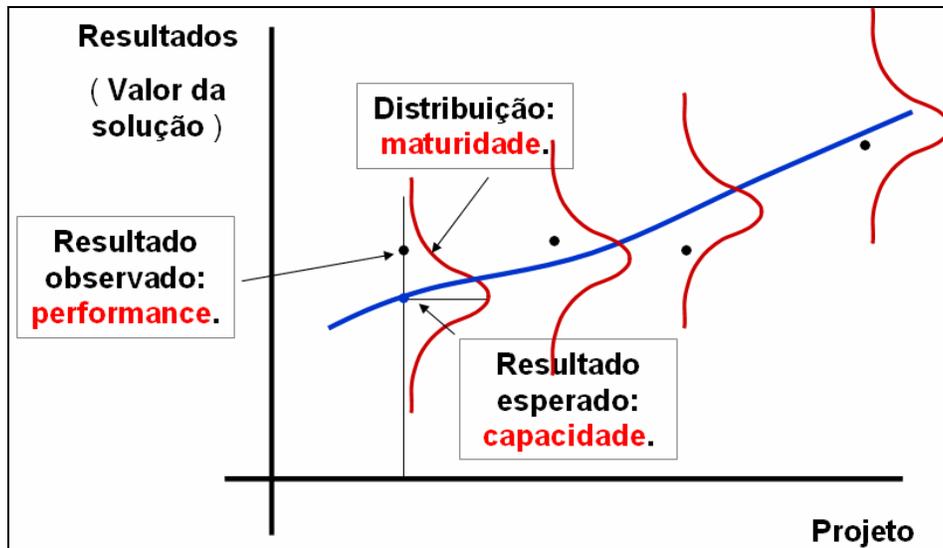


FIGURA 6 Capacidade, maturidade, e performance de um processo, sob o ponto-de-vista estatístico

Fonte: Oliveira (2006)

A próxima seção refere-se a uma área de processo abordada no modelo CMMI, que está diretamente ligada ao pensamento estatístico exposto anteriormente – Medição e Análise.

2.2.2.2 Medição e Análise no CMMI

No nível 2 de maturidade da Representação por Estágio do CMMI foi adicionada a Área de Medição e Análise. Isso reforça a real necessidade da mensuração em um processo de desenvolvimento de software, bem como a importância deste assunto. A diferença entre a consideração do SW-CMM e do CMMI em seus modelos para esta área pode ser observada na Tabela 4, a seguir:

TABELA 4 Inclusão da Área de Medição e Análise no Nível 2 do CMMI
(Representação por Estágio)

SW-CMM	CMMI (Representação por Estágio)
Nível 2 – Repetível	Nível 2 - Gerenciado
Gestão de Requisitos Planejamento de Projeto de Software Acompanhamento e Supervisão de Projeto de Software Gestão de Subcontratação de Software Garantia da Qualidade de Software Gestão de Configuração de Software	Gestão de Requisitos Planejamento de Projeto Acompanhamento e Controle de Projeto Gestão de Acordos com Fornecedores Garantia da Qualidade de Produto e Processo Gestão de Configuração de Software Medição e Análise ←

Fonte: Oliveira (2006)

Na Representação Contínua, a Área de Medição e Análise está situada dentro do Grupo de Suporte, como pode ser visto na Tabela 5.

TABELA 5 Área de Medição e Análise – Grupo de Suporte do CMMI
(Representação Contínua)

CMMI (Representação Contínua)	
Grupo	Áreas de Processo
Gestão de Projeto	Planejamento de Projeto Acompanhamento e Controle de Projeto Gestão de Acordos com Fornecedores Gestão Integrada de Projeto Gestão de Risco Gestão Quantitativa de Projeto
<i>Suporte</i>	Gestão de Configuração Garantia da Qualidade de Processo e Produto <u>Medição e Análise</u> Análise de Decisão e Resolução Análise de Causas e Resolução
Gestão de Processo	Foco no Processo da Organização Definição do Processo da Organização Treinamento organizacional Desempenho do Processo da Organização Inovação Organizacional e Disseminação
Engenharia	Gestão de Requisitos Desenvolvimento de Requisitos Solução Técnica Integração de Produto Verificação Validação

A área de processo de Medição e Análise limita-se a garantir que os projetos de software sejam controlados e acompanhados em relação aos compromissos assumidos. No nível 4 de maturidade, as atividades de

mensuração passam a ser utilizadas no sentido de garantir o controle estatístico do processo. Considerando ainda a mensuração no nível 5, esta fornece base para implantação de melhoria contínua em processos (Oliveira, 2006).

Diante de todas essas considerações do modelo do CMMI com relação à necessidade de atividades ligadas à mensuração, bem como o sistema de medição necessário para implantação do CMMI em uma organização que busca altos níveis de maturidade, esta dissertação apresenta um processo de medição de software baseado em PSM conjugado com Seis Sigma – assuntos estes tratados em seções posteriores.

A área de Medição e Análise possui as duas seguintes Metas Específicas, ilustradas na Tabela 6, a seguir:

TABELA 6 Metas Específicas da Área de Medição e Análise do CMMI

Meta: Alinhar as atividades de medição e análise.
Descrição: Objetivos e atividades relacionados à mensuração devem estar alinhados com as necessidades de informação e metas da organização.
Práticas associadas: <ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer os objetivos da mensuração; • Especificar as medidas; • Especificar os procedimentos de coleta e armazenamento de dados; • Especificar os procedimentos de análise.
Meta: Fornecer os resultados das medições.
Descrição: Os resultados das medições são fornecidos para atender às necessidades de informação identificadas.
Práticas associadas: <ul style="list-style-type: none"> • Coletar as medidas; • Analisar os dados obtidos; • Armazenar os dados e os resultados; • Divulgar os resultados.

De acordo com Oliveira (2006), e considerando o contexto dessa dissertação, temos que a área de Medição e Análise se relaciona diretamente com as seguintes Áreas de Processo do CMMI:

- Planejamento de Projeto (nível 2 de maturidade), para fornecer informações sobre as estimativas dos atributos de projetos e outras necessidades de informação para planejamento;
- Monitoração e Controle de Projeto (nível 2 de maturidade), para atender às necessidades de informação do monitoramento da performance do projeto;
- Definição do Processo Organizacional (nível 3 de maturidade), para o estabelecimento do repositório de medições da organização;
- Gerência Quantitativa do Projeto (nível 4 de maturidade), para apoiar o entendimento da variação e o uso apropriado das técnicas de análise estatística.

Na área de Medição e Análise do CMMI, a Subprática 4, “Selecionar métodos e ferramentas apropriados para análise de dados”, da Prática “Especificar os procedimentos de análise”, recomenda o uso de **métodos estatísticos** para se entender a variabilidade dos dados, em que técnicas adequadas de análise descritiva e critérios convenientes de amostragem devem ser escolhidos. E a Subprática 6, “Especificar critérios para avaliar a utilidade dos resultados da análise” e da condução das atividades de medição e análise, lembra que providências devem ser tomadas para se evitar o viés na amostragem dos dados e garantir que as pressuposições estatísticas sejam satisfeitas para a correta aplicação de metodologias estocásticas. Ambas Subpráticas estão destacadas na Tabela 7, a seguir:

TABELA 7 Subpráticas da Área de Medição e Análise do CMMI, que Recomendam o Uso de Metodologia Estatística

Meta: Alinhar as atividades de medição e análise.	
Prática: Especificar os procedimentos de análise.	
Subprática 4: <i>Selecionar métodos e ferramentas apropriados para análise de dados</i>	Subprática 6: <i>Especificar critérios para avaliar a utilidade dos resultados da análise e da condução das atividades de medição e análise.</i>

Fonte: Oliveira (2006)

De acordo com Oliveira (2006)

As metodologias Estatísticas como controle estatístico de processo e delineamentos experimentais desde que utilizadas de modo apropriado, atendem a estas Subpráticas. Além de contribuir - direta ou indiretamente - para o estabelecimento das demais Metas, Práticas e Subpráticas, tanto Genéricas quanto Específicas, da área em questão, como, por exemplo, para a Prática Analisar os Dados Medidos, que faz parte da Meta Específica Fornecer os resultados das medições. Utilizando a Estatística, compreende-se mais profundamente o processo, pois é a Estatística que permitirá fazer tanto a medição quanto a análise (p. 37).

2.2.3 Considerações Finais sobre o Tópico

Baseado nas características do CMMI apresentadas neste tópico optou-se pela utilização do modelo CMMI-DEV como base para a criação do processo

de medição proposto. Outro fator que influenciou a escolha foi o reconhecimento que o CMMI possui internacionalmente.

A representação escolhida foi a estagiada, por descrever a seqüência de execução das áreas de processo, agrupando-as em níveis. Alcançando cada nível garante-se uma base adequada de melhorias para o próximo nível. Dessa forma, considerando a representação estagiada, encontrou-se maior facilidade na exposição da correspondência realizada entre as atividades do processo de medição propostas e as atividades especificadas na metodologia Estatística do Seis Sigma.

Os níveis 4 e 5 do CMMI somente podem ser alcançados pelas empresas de software por meio de um processo de medição adequado, que considere fatores de controle estatístico do processo produtivo no nível 4, e de melhoria de processo por meio de delineamentos experimentais no nível 5. Isto será melhor explicado mais adiante no tópico intitulado Resultados, item Resultados Metodológicos.

2.3 Medição de Software

Processos de Medição se tornaram uma parte tão importante quanto necessária nas Organizações que desenvolvem software (McGarry et al., 2002), pois para competir em um ambiente caracterizado por rápidas e constantes mudanças é fundamental trabalhar de maneira produtiva, eficiente e com alto nível de qualidade. Por estes motivos, os dias de tomadas de decisão baseadas apenas “em palpites” terminaram, e é neste contexto que a medição se insere: a partir da existência de dados e análises históricas sobre a Organização, é possível melhorar em muito o processo de tomada de decisão (Holmes, 2002).

A maioria dos profissionais da área de desenvolvimento de software compreende a necessidade de realizar medições, mas, infelizmente, a implementação de um processo que venha a se tornar repetível e integrado aos

ciclos-de-vida de desenvolvimento e manutenção de software de uma forma geral ainda é um grande problema. As principais razões para o fracasso de programas de medidas não são problemas técnicos, e sim organizacionais (Rubin, 1992), tais como: não-alinhamento aos objetivos de negócio, resistência cultural, motivação errônea e falta de liderança. De acordo com Holmes (2002), estes problemas podem ser resolvidos abordando-se a definição e implementação de um processo de medição por meio do uso de uma metodologia organizada de planejamento, que busca envolver todos os profissionais da área de software, cada um no momento adequado.

Um programa de medidas de sucesso é mais que simplesmente uma coletânea de dados. Os benefícios e valores agregados obtidos por meio da medição dizem respeito às decisões e ações tomadas a partir da análise dos dados obtidos, e não da coleção de dados em si (Zubrow, 1998). Portanto, a melhor abordagem para definição e implementação de um processo de medição é a que define, antes de tudo, o que a Organização deseja ou precisa saber, e somente então escolhe as medidas apropriadas. Uma vez que as medidas estejam definidas, o passo seguinte é encontrar uma coleção de dados específica que possa apoiar a obtenção destas medidas. Especificamente, um processo deste tipo envolve os seguintes passos: (i) definir os objetivos e iniciativas; (ii) definir as medidas que apoiarão estes objetivos e iniciativas; (iii) definir os dados que serão necessários para produzir estas medidas; (iv) definir como analisar e comunicar os resultados das medidas e (v) implementar o processo (Goethert & Fischer, 2003).

Um processo de medição de software direcionado aos objetivos produz medidas que provêm informações para importantes questões de negócio previamente identificadas. Uma vez que as medidas podem ser rastreadas de volta aos objetivos da Organização, as atividades de coleta de dados não são executadas apenas pelo ato de coletar medidas, e sim com o propósito de que os

dados coletados sejam analisados de forma a manter o foco nestes objetivos (Goethert & Hayes, 2001; Goethert & Fischer, 2003).

Assim como qualquer outra disciplina de engenharia, o desenvolvimento de software requer um mecanismo de medição para obter as informações sobre a execução do processo, necessárias para o seu correto entendimento e avaliação (Basili, 1994). Medir é o processo por meio do qual números ou símbolos são atribuídos a características das entidades do mundo real, de forma a tornar possível caracterizar cada entidade por intermédio de regras claramente definidas (Fenton & Pfleeger, 1997).

O uso de medições ajuda a entender e a interagir com o mundo para, então, poder melhorá-lo. Muitas medições são propostas e aplicadas em casos práticos, a fim de alcançar os seguintes objetivos: i) melhorar o entendimento sobre o processo, produto, recursos e ambiente de desenvolvimento e, assim, estabelecer bases para comparação entre medições; ii) avaliar o andamento do projeto comparando com dados planejados; iii) fazer previsões sobre o futuro andamento do projeto baseado em comportamentos passados; iv) promover melhorias identificando falhas, ineficiências e outras oportunidades para melhorar a qualidade do produto e o desempenho do processo (Park et al., 1996).

Porém, ao contrário do que possa parecer, definir, coletar e analisar um conjunto de medições não é uma tarefa trivial. Na realidade, esta é uma tarefa trabalhosa, que demanda grande conhecimento para evitar que o seu uso não aumente ainda mais os problemas enfrentados durante o desenvolvimento. De acordo com Park et al. (1996), este problema ocorre devido ao grande número de atributos que podem ser medidos durante um projeto. Uma escolha incorreta das medições pode levar, além do próprio aumento desnecessário de esforço, a uma visão distorcida do processo, o que dificulta a sua análise e, muitas vezes, termina por orientar decisões equivocadas.

Experiências com medições orientadas a objetivos mostraram a importância da definição prévia de metas para facilitar a escolha de medições e a correta interpretação dos resultados.

Neste contexto se destaca o modelo de medição de software PSM e a abordagem Seis Sigma, que se baseiam na convicção de que, para uma organização medir de forma eficiente, é necessário, primeiro, especificar objetivos a serem alcançados, relacionar estes objetivos com dados reais obtidos por meio de medições e, finalmente, prover um processo de medição para a interpretação destes dados de acordo com os objetivos propostos. Dessa forma, a definição de medições deve ser baseada nos objetivos definidos para o processo de avaliação. Estes objetivos, por sua vez, devem estar diretamente relacionados às metas organizacionais que levaram à implantação do programa de melhoria, pois este é um fator de grande influência para a obtenção do apoio da alta gerência.

De acordo com Fenton & Neil (2000), todas estas dificuldades fizeram com que a maioria das propostas de implantação de medições para avaliação e melhoria de processos não tenham tido muito sucesso até os dias de hoje. Poucos foram os casos nos quais o seu uso não foi considerado ineficiente ou, até mesmo, desaconselhável. Eles defendem a idéia de que a razão para esta falta de sucesso pode ser atribuída ao fato de que as atividades de medição não tiveram como objetivo o principal requisito, que é prover as informações necessárias para apoiar as decisões gerenciais durante o ciclo de vida do software. Além disso, também argumentam que as metodologias tradicionais geralmente são orientadas por modelos de regressão para estimativa de custo e de defeitos, o que provê pouca informação de caráter decisório para os gerentes. Na opinião de ambos, o futuro das medições de software está no uso de medições relativamente simples, combinando diferentes aspectos do desenvolvimento de forma a permitir vários tipos de estimativas e avaliações.

Assim, torna-se necessário analisar os fatores-chave esquecidos pelas abordagens tradicionais como, por exemplo, a relação de causa e efeito e a combinação de evidências.

São apresentadas a seguir algumas explicações sobre o projeto PSM e a metodologia Estatística do Seis Sigma. Dois pontos fundamentais para o entendimento dessa dissertação.

2.3.1 PSM

Neste tópico apresenta-se o modelo PSM (*Practical Software Measurement*) e suas características, bem como a Ferramenta PSM Insight, explicando suas principais funcionalidades.

2.3.1.1 O Modelo PSM

O PSM é um modelo para a estruturação da atividade de mensuração em um projeto de software. De um ponto de vista prático, o PSM procura resolver dois problemas, conforme pode ser observado na Tabela 8:

TABELA 8 Problemas e Propostas de Soluções

Problemas	Propostas de Soluções
Como especificar formalmente as medidas a serem utilizadas?	Modelo de Informação: se concentra na seleção das medidas utilizadas
Como conduzir o processo de medição?	Modelo de Processo: trata-se de um guia para a implementação do PSM

Fonte: adaptado de Aguiar (2006)

Modelo de Informação

O Modelo de Informação do PSM é uma estrutura para a definição das medidas a serem utilizadas em um projeto. Por meio desse modelo são definidos os seguintes conceitos:

- Atributo: propriedade relevante do ponto de vista das necessidades de informação;
- Método: operação que mapeia o atributo para uma escala;
- Medida Básica: valor resultante da aplicação do Método a um Atributo;
- Função: algoritmo combinando duas ou mais Medidas Básicas;
- Medida Derivada: valor resultante da aplicação de uma Função;
- Modelo: algoritmo combinando medidas e critérios de decisão;
- Indicador: estimativa ou avaliação que provê uma base para a tomada de decisão.

Na finalidade de prover um melhor entendimento, apresenta-se a seguir um exemplo simples, obtido de Aguiar (2006), cujo objetivo é obter estimativas de produtividade no desenvolvimento de software. Para tal, uma possível aplicação do Modelo de Informação seria:

Para cada projeto da unidade organizacional, obter:

- Atributos: horas trabalhadas no projeto (a partir dos *timesheets*), funcionalidade oferecida pelo projeto (a partir das especificações);
- Métodos: contar horas (obtendo o esforço do projeto), contar pontos de função (obtendo o tamanho funcional do projeto);
- Medidas Básicas: esforço do projeto em horas, tamanho do projeto em pontos de função;
- Função: dividir tamanho do projeto pelo esforço (obtendo Pontos de Função/Hora).

A partir dos resultados obtidos para os projetos, obter:

- Indicador: média e intervalo de confiança a 2 desvios-padrão para a produtividade.

Modelo de processo

Por intermédio desse modelo percebe-se um direcionamento para a execução de atividades de medição de um projeto de software, conforme observado na Figura 7. As idéias principais de cada uma das atividades desse processo estão sucintamente mencionadas nesta seção. Para um entendimento mais profundo destas atividades, bem como um maior detalhamento, deve-se consultar Aguiar (2006).

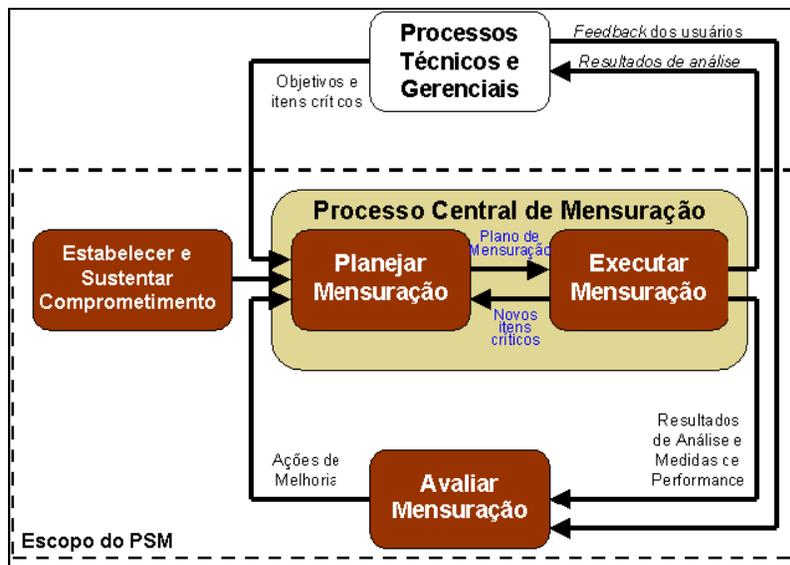


FIGURA 7 Modelo de Processo do PSM

Fonte: Aguiar (2006)

O **Processo Central de Mensuração do PSM** envolve os seguintes subprocessos:

Subprocesso: Planejar Mensuração – Este subprocesso é composto de 3 atividades:

Atividade - Identificar e Priorizar Necessidades de Informação: na identificação das necessidades de informação do projeto são considerados os seus objetivos, itens críticos, ambiente de execução, ações de melhoria planejadas, mudanças propostas e novas necessidades de informação, assim como informações provenientes da atividade de gerenciamento de risco. O PSM fornece uma classificação para as necessidades de informação de um projeto, que pode estimular o processo de identificação. Segundo essa classificação, as necessidades de informação de um projeto de software costumam ser alocados às seguintes Categorias de Informação, conforme observado no Tabela 9:

TABELA 9 Classificação das necessidades de informação

Categorias de Informação
Prazo e Progresso
Recursos e Custo
Tamanho e Estabilidade do Produto
Qualidade do Produto
Performance do Processo
Eficácia da Tecnologia
Satisfação do Usuário

Considerando essas categorias, medidas apropriadas são mais facilmente selecionadas, atribuindo-se cada necessidade de informação do projeto a uma dessas categorias. O PSM inclui tabelas de correspondência entre as Categorias de Informação, Atributos, Estruturas e Medidas Candidatas. Resumidamente pode-se concluir que o PSM possui varias sugestões de medidas. Todavia, a seleção destas deve-se levar em consideração as necessidades específicas, de específicos projetos. Antes de selecionar os problemas a serem atacados pelo processo de medição, deve-se considerar a probabilidade de influência que estes têm na organização, bem como a proporção do benefício que a eliminação destes trará para a organização. A partir da seleção destes problemas, deve-se concentrar em suas medidas de impacto.

Atividade - Selecionar e Especificar Medidas: nesta atividade são selecionadas as medidas básicas, medidas derivadas e indicadores que virão a ser utilizados no atendimento às necessidades de informação anteriormente estabelecidas.

Atividade - Integrar Mensuração aos Processos do Projeto: nas atividades anteriores, a preocupação foi descobrir o que o gerente do projeto precisará saber. Nesta atividade, passaremos a examinar como os dados serão coletados e analisados, a fim de satisfazer as necessidades de informação do projeto. Serão especificadas em quais fases do processo de desenvolvimento de software serão coletados os dados.

Subprocesso: Executar Mensuração - este subprocesso também compreende 3 atividades:

Atividade - Coletar e Processar Dados: esta atividade envolve a coleta de dados a partir das fontes especificadas no Plano de Mensuração, a respectiva preparação para a análise e o armazenamento dos dados em local acessível.

Atividade - Analisar Dados: esta atividade envolve a transformação das medidas básicas em indicadores e a utilização dos indicadores e critérios em decisões de planejamento e/ou ações corretivas. Devem ser aplicados os procedimentos de análise previstos no Plano de Mensuração, podendo ser utilizadas técnicas alternativas quando necessário.

Atividade - Produzir Recomendações: nesta atividade é efetuada uma avaliação global do projeto, incluindo projeções de performance futura. São também identificados problemas específicos, riscos e falta de informações, devendo ser

descritos os obstáculos (potenciais ou existentes) ao sucesso do projeto. Devem ser produzidas recomendações sugerindo ações alternativas, incluindo as vantagens e desvantagens de cada caminho apontado.

Os **Processos Não-Centrais do PSM**, igualmente importantes, são descritos a seguir, acompanhados das respectivas atividades:

Processo: Avaliar Mensuração

Atividade -Avaliar Medidas: os critérios para avaliar as medidas selecionadas para o projeto são: utilização dos produtos da medição; confiança nos resultados; adequação aos objetivos do projeto; entendimento dos resultados; acurácia (medida especificada versus real); e confiabilidade (resultados consistentes em várias repetições das medições). Esta fase avalia se as medidas selecionadas, bem como os dados referentes a estas medidas obtiveram entendimento nos resultados.

Atividade - Avaliar o Processo de Mensuração: esta avaliação deve ser realizada sob o ponto de vista de performance (entradas, saídas e efeitos), conformidade (processo especificado versus executado) e maturidade (comparação com um processo semelhante de outra organização).

Atividade - Atualizar a Base de Experiência: devem ser armazenados, em um repositório, as lições aprendidas, avaliações, sucessos e fracassos, artefatos e toda a documentação produzida pelo processo de mensuração.

Atividade - Identificar e Implementar Melhorias: esta atividade objetiva a identificação de alternativas para a melhoria do processo vigente e sua aplicação nos próximos projetos.

Processo: Estabelecer e Sustentar Comprometimento

Este processo inclui atividades comuns a qualquer projeto, tais como: Obter Comprometimento Organizacional, Definir Responsabilidades, Prover Recursos e Rever o Progresso do Programa de Mensuração.

O PSM inclui, ainda, um produto de software específico, que pode ser obtido gratuitamente no website do PSM *Support Center*, em www.psmc.com (PSM, 2005). Trata-se do PSM Insight, uma ferramenta simples que apóia a implantação do PSM em uma organização. Esta ferramenta será abordada com mais detalhes na seção seguinte.

2.3.1.2 A Ferramenta PSM Insight

As definições a seguir foram obtidas no manual de utilização do software PSM Insight (Insight, 2005). As informações presentes nesta seção foram trabalhadas por meio de telas de ajuda da ferramenta, manual de utilização, bem como em considerações provenientes da utilização intensiva do software. Um filtro de relevância, considerando o contexto dessa dissertação, foi aplicado a tais informações, com a finalidade de facilitar a compreensão de sua real aplicabilidade em meio à medição de um projeto de software.

PSM Insight

O PSM Insight é uma ferramenta baseada na idéia de um software que automatize o processo prático de medição de software e sistemas (PSM). O software é altamente gráfico, e inclui muitas telas de ajudas na finalidade de

ajudar na organização do projeto e na definição de medidas e indicadores. PSM Insight inclui três módulos principais:

- Organização;
- Entrada de Dados;
- Análise.

A ferramenta é de uso amigável, fornecendo muitos exemplos-padrão. Entretanto, a PSM Insight é também muito flexível, possibilitando análises customizadas para necessidades específicas de projetos. Ela permite a automatização do processo de medição dos sistemas (PSM). Esta ferramenta possui foco em organização de dados, entrada de dados e funções de análise para ajudar na interpretação dos dados coletados.

Alguns dos principais benefícios fornecidos pela ferramenta são:

- Customizável às necessidades específicas dos projetos;
- Baseada em modelos comumente utilizados, considerando as melhores práticas para desenvolvimento de software;
- Organizador de dados facilitando tomada de decisões;
- Identificador de problemas em potencial e das soluções para eles;
- Auxiliador na identificação do custo e cronograma das atividades.

2.3.1.3 Considerações Finais sobre a Seção

O modelo PSM, bem como a ferramenta PSM Insight, ressaltam a importância da medição para o alcance da qualidade em um processo de desenvolvimento de software e despertam as fábricas de software para esta realidade. Todavia, para que seja realizado um controle de processo eficaz e identificadas propostas para a sua melhoria, exige-se uma estrutura de medição melhor definida, que considere aspectos estatísticos em sua construção.

Considerando esta realidade, é possível fazer uma analogia do PSM com um ótimo “etiquetador de dados”, que provê detalhes sobre a origem dos dados

(no caso da Figura 8 o dado é 3,17), mas, no entanto, pouco informa sobre o seu significado, conforme mostra a Figura 8:



FIGURA 8 Dificuldade de interpretação

Dessa forma, dentre um dos aspectos considerados nesta dissertação, tem-se a correspondência dos conceitos dos termos utilizados no PSM para termos estatísticos. Na finalidade de fazer com que, desde o início da elaboração de um projeto, sejam consideradas algumas preocupações estatísticas, para que a análise dos dados, no futuro, possa fornecer informações valiosas a respeito das verdadeiras características do processo de desenvolvimento de software utilizado.

Esta correspondência será melhor detalhada no tópico de número 4, sobre Resultados e Discussão, na seção sobre Resultados Metodológicos – Correspondência CMMI – Seis Sigma – PSM.

2.3.2 Seis Sigma

Nesta seção serão discutidas algumas características da metodologia Estatística do Seis Sigma. Primeiramente, explicando em mais detalhes os conceitos Estatísticos relacionados ao Seis Sigma e, posteriormente, o modelo DMAIC, que é apresentado por meio de um exemplo no contexto computacional.

Nas demais seções são introduzidos conceitos estatísticos utilizados no Seis Sigma: Gráficos de Controle e Delineamentos Experimentais.

2.3.2.1 Conceito

As empresas estão constantemente em alerta para ganhar competitividade, utilizando ferramentas já consagradas como armas para vencer a concorrência. Apesar do enfoque em formas inovadoras de criar produtos e prestar serviços, uma constante permanece: as empresas que oferecem produtos e serviços de melhor qualidade sempre vencem a concorrência. O método Seis Sigma de melhoria é uma abordagem testada e aprovada em várias partes do mundo, e que tem sido eficaz em ajudar empresas a dominarem a concorrência (Eckes, 2003).

A crescente popularidade do programa Seis Sigma deve-se aos casos de aplicações bem sucedidas em grandes corporações, como a Motorola e General Electric. Tais aplicações transformaram o Seis Sigma em uma das poucas iniciativas de orientação técnica a gerar interesse significativo na comunidade financeira, na mídia e na liderança das grandes corporações (Hoerl, 2001).

Parte da popularidade do programa é devido ao seu foco na redução de custos e na melhoria da lucratividade. Essa melhoria é obtida por meio do rastreamento e eliminação das causas raízes dos defeitos, assim como da melhoria da eficiência em todas as operações, a partir do chão de fábrica até os níveis gerenciais (Bisgaard & Freiesleben, 2001, apud Usevicius, 2004).

No Brasil, empresas como Brahma, Belgo-Mineira, Kodak, Motorola, Ambev, Gerdau, Cimentos Votorantim e Multibrás já estão colhendo resultados concretos da aplicação do Seis Sigma. As ferramentas do Seis Sigma já são conhecidas. A maneira pela qual são implementadas é onde está a novidade e a razão fundamental de seu sucesso.

Snee (2000), citou ainda que os projetos Seis Sigma podem apresentar resultados da ordem de U\$ 175.000 dólares por projeto Seis Sigma. Diversos outros autores, tais como, Breyfogle III et al. (2001), Eckes (2001), Harry & Schroeder (2000), Pande et al. (2001), também têm relatado que as empresas que estão aplicando a metodologia Seis Sigma estão obtendo ganhos de qualidade e financeiros expressivos. O entendimento do Seis Sigma pode ser facilitado se observadas as comparações entre alguns padrões, como apresentado na Figura 9, Figura 10 e Figura 11, todas extraídas de Werkema (2004).

Quatro Sigma (99,38% conforme)	→	Seis Sigma (99,99966% conforme)
Sete horas de falta de energia elétrica por mês	→	Uma hora de falta de energia elétrica a cada 34 anos
5.000 operações cirúrgicas incorretas por semana	→	1,7 operação cirúrgica incorreta por semana
3.000 cartas extraviadas para cada 300.000 cartas postadas	→	Uma carta extraviada para cada 300.000 cartas postadas
Quinze minutos de fornecimento de água não potável por dia	→	Um minuto de fornecimento de água não potável a cada sete meses
Um canal de TV 1,68 horas fora do ar por semana	→	Um canal de TV 1,8 segundos fora do ar por semana
Uma aterrissagem de emergência no aeroporto de Guarulhos por dia	→	Uma aterrissagem de emergência em todos os aeroportos do Brasil a cada cinco anos

FIGURA 9 Exemplo de comparação entre níveis do Seis Sigma
Fonte: Werkema (2004)

Exemplos de performances na Escala Sigma

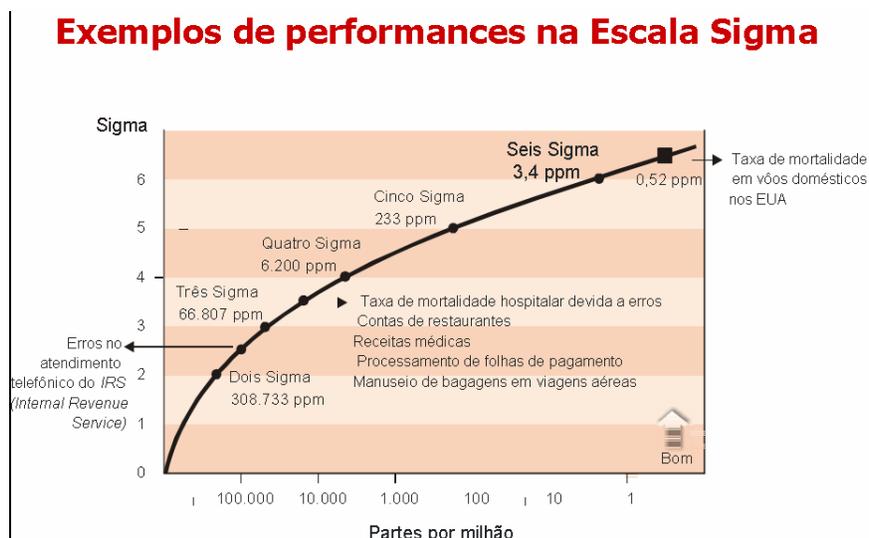


FIGURA 10 Exemplo de performance do Seis Sigma

Fonte: Werkema (2004)

Nível da qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Percentual conforme	Custo da não qualidade (percentual do faturamento da empresa)
Dois sigma	308.537	69,15	Não se aplica
Três sigma	66.807	93,32	25 a 40%
Quatro sigma	6.210	99,3790	15 a 25%
Cinco sigma	233	99,97670	5 a 15%
Seis sigma	3,4	99,999660	< 1%

FIGURA 11 Tradução do Nível de qualidade para Linguagem Financeira

Fonte: Werkema (2004)

O Seis Sigma é um sistema que liga idéias, tendências e ferramentas, o qual o foco no cliente torna-se a prioridade principal. As melhorias Seis Sigma

são definidas pelo seu impacto sobre a satisfação e valores dos clientes. Existem muitas decisões de negócios que se baseiam em opiniões e suposições. A disciplina Seis Sigma começa esclarecendo que medição é a chave para avaliar o desempenho dos negócios; depois, aplicam-se análises em dados de modo a se construir um entendimento das variáveis-chave e a otimizar resultados.

Os conceitos fundamentais do Seis Sigma consideram o fato de que a variação dos produtos e processos deve ser conhecida por ser um fator que afeta tempos de fabricação, custos de produto e processo, qualidade do produto e, finalmente, a satisfação do cliente. A etapa crucial do Seis Sigma consiste na definição e medição da variação dos processos com o objetivo de descobrir suas causas, desenvolvendo meios operacionais eficientes para controlar e reduzir esta variação (Sanders & Hild, 2001, apud Usevicius, 2004). A metodologia engloba ferramentas e práticas que substituem hábitos reativos por um estilo de gerenciamento dinâmico, receptivo e pro ativo. Ser pro ativo significa agir antes dos eventos.

O termo Seis Sigma possui diversos significados. Em termos gerais, é muito mais uma estratégia de negócios do que apenas algo associado aos conceitos de qualidade. Para as empresas pioneiras, Seis Sigma é parte da estratégia corporativa dos negócios. E então, o que é Seis Sigma? Segue abaixo um resumo do significado do Seis Sigma:

- Os conceitos de Seis Sigma consideram o fato de que a variação dos produtos e processos deve ser conhecida por ser um fator que afeta tempo de fabricação, custos de produtos e processo, qualidade do produto e, finalmente, a satisfação do cliente. A etapa crucial do Seis Sigma consiste na definição e medição da variação dos processos com o objetivo de descobrir suas causas, desenvolvendo meios operacionais eficientes para controlar e reduzir esta variação. Segundo Eckes (2003), em um nível mais técnico, o conceito baseia-se na teoria da variação,

aonde as coisas que podem ser medidas com precisão são passíveis de variação. Partindo deste princípio, qualquer coisa que possa ser medida em escala contínua, por exemplo, largura, altura, peso, segue a curva em forma de sino, chamada de Curva Gaussiana, ou mais conhecida como Curva Normal. Como métrica, Seis Sigma (σ) é utilizado para medir o desempenho e a variabilidade dos processos. Os estatísticos utilizam a letra grega Sigma (σ) para expressar o desvio padrão relativo a uma população. Quanto maior o valor de Sigma, melhor é o desempenho do processo. Utilizar Sigma nesse contexto facilita a comparação da qualidade de diferentes produtos, serviços e processos. A competitividade da maioria das empresas está situada entre três a quatro Sigma. Existem muitas empresas que funcionam nessa faixa. Sigma se torna exponencial quando traduzida em defeitos por milhão de oportunidades (PPM). Um desempenho perto de um Sigma (σ) mostra que o processo produz mais defeitos do que bons resultados. Seis sigma significa, na realidade, um desempenho que se situa (em termos da qualidade) muito perto da perfeição. Sigma se traduz normalmente em índices de capacidade (C_p e C_{pk}). Sigma também pode ser utilizado para calcular o custo da má qualidade.

- Seis Sigma é também uma metodologia para atingir a quase perfeição no desempenho dos processos. Associa um rigoroso enfoque estatístico a um arsenal de ferramentas, que são utilizadas com o objetivo de caracterizar as fontes de variabilidade e para demonstrar como esse conhecimento dado pode ser utilizado para controlar e aperfeiçoar os resultados dos processos. Seis Sigma é visto mais como uma filosofia de gestão. Explicam a relação existente entre o número de efeitos, o custo do desperdício operacional e o grau de satisfação do cliente com os produtos e serviços da empresa.

Características do Seis Sigma

A análise quantitativa e o pensamento estatístico são conceitos-chave no Seis Sigma. O Seis Sigma é um gerenciamento baseado em dados. O pensamento estatístico consiste na capacidade da organização em utilizar os conceitos e ferramentas para melhorar seus processos. Os principais conceitos do pensamento estatístico incluem a melhoria geral do sistema subordinando a otimização das partes, visão de processo, uso de dados para a tomada de decisões e entendimento do conceito de variação para tomada de decisões (Britz et al., 2000, apud Reis, 2003). Pode-se dizer que a metodologia Seis Sigma está dividida em 80% estatístico e 20% gestão estratégica, sendo esta última é fundamental para o seu sucesso, pois se deve ter uma forte liderança que faça com que toda a organização perceba a importância e do método e todos se mostrem comprometidos.

A ênfase nos benefícios econômicos é um diferencial do Seis Sigma em relação aos demais programas da qualidade. É desejável que a validação seja realizada pela área financeira. O escopo deve seguir as expectativas da duração do projeto, onde o escopo corresponde à abrangência ou tamanho do projeto.

O Seis Sigma necessita de pessoal especializado para a sua aplicação. Esse pessoal especializado é tipicamente denominado de especialista *Master* (*Master Black Belt*), especialista em Seis Sigma (*Black Belt*), membros das Equipes Multifuncionais (*Green Belt*) e os demais Membros (*Yellow* ou *White Belts*). Os termos são uma analogia aos especialistas em artes marciais, que possuem uma série de habilidades.

Habilitação para envolver-se com o Seis Sigma

Segundo Werkema (2004), para que o Seis Sigma tenha sucesso, é necessário treinar pessoas que tenham perfis apropriados, os quais estes se

transformarão em patrocinadores do programa ou em especialistas no método e nas ferramentas Seis Sigma. Estes são apresentados a seguir:

- *Sponsor* do Seis Sigma: é responsável por promover e definir as diretrizes para a implementação do Seis Sigma, ou seja, o “número um” da empresa;
- *Sponsor* Facilitador: é um dos diretores, ele tem a responsabilidade de assessorar o *Sponsor* do Seis Sigma na implementação do programa;
- *Champions*: tem o papel de apoiar os projetos e remover possíveis barreiras para o seu desenvolvimento, são diretores ou gerentes;
- *Master Black Belts*: assessoram os *Champions* e atuam como mentores dos *Black Belts*;
- *Black Belts*: lideram equipes na condução de projetos. Têm o papel de incentivar, entusiasmar e devem possuir habilidade de relacionamentos comunicação, motivar para alcançar resultados e efetuar mudanças. Devem ter um perfil para trabalhar em equipe, ter capacidade de concentração, raciocínio analítico e quantitativo e ainda ter elevado conhecimento técnico da sua área de atuação;
- *Green Belts*: participam das equipes lideradas pelos *Black Belts*. Têm o perfil similar ao dos *Black Belts*, mas com menor ênfase nos aspectos comportamentais;
- *White Belts*: dão suporte aos *Black Belts* e *Green Belts* na implementação dos projetos, eles são profissionais de nível operacional da empresa.

Na Tabela 10 é apresentada a comparação de alguns dos papéis citados acima por Werkema (2004). Esta comparação é baseada em Harry & Schroeder (2000).

TABELA 10 Comparação entre os perfis de alguns patrocinadores do Seis Sigma

	<i>Champion</i>	<i>Master Black Belt</i>	<i>Black belt</i>	<i>Green Belt</i>
Qualificações	Executivos seniores e gerentes, tais como, um diretor ou gerente de fabricação ou marketing. Familiaridade e com ferramentas estatísticas básicas e avançadas.	Recomendável formação técnica. Um <i>Master Black Belt</i> poderia ser, por exemplo, um gerente ou eng. chefe. Domínio de ferramentas estatísticas básicas e avançadas.	Recomendável formação ou orientação técnica. Um <i>Black Belt</i> poderia ser um eng. ou profissional com 5 ou mais anos de experiência. Domínio das ferramentas estatísticas básicas.	Base e suporte técnico. Sua posição atual é associada com o problema que está sendo resolvido. Familiaridade com as ferramentas estatísticas básicas.
Treinamento	Três a cinco dias de treinamento específico.	Em torno de 200 horas de treinamento e desenvolvimento de projetos.	Em torno de 160 horas de treinamento e desenvolvimento de projetos.	Em torno de 80 horas de treinamento e desenvolvimento de projetos.
Numero de Pessoas Treinadas	Um <i>Champion</i> por unidade de negócio	Um <i>Master Black Belt</i> para cada 20-30 Black Belts	Um <i>Black Belt</i> para cada 50-100 pessoas	Um Green Belt para cada 10-20 pessoas

Fonte: Harry & Schroeder (2000).

Significados estatísticos do Seis Sigma

A letra grega sigma minúscula (σ), correspondente à letra s latina; é a sigla estatística para o desvio padrão, que é uma medida estatística que quantifica a variabilidade existente em uma variável do processo.

Seja X uma variável aleatória. Então:

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}[X]} = \sqrt{E[X^2] - (E[X])^2};$$

onde, $E[X^n] = \sum_x x^n P(X = x)$, X é discreta, e

$$E[X^n] = \int_{-\infty}^{\infty} x^n f(x) dx, \text{ se } X \text{ é contínua.}$$

Obs.: Os valores de n mais importantes são 1 e 2, pois, para $n = 1$ temos $E[X]$ e para $n = 2$ temos $E[X^2]$.

Se σ for grande, então há muita variação no processo, se for pequeno há pouca variação, logo apresentando mais uniformidade. Conseqüentemente, quanto menor for essa variação melhor será o processo. Mas, apenas observando esse valor de σ não se pode afirmar o quanto esse processo está variando, em outras palavras, se a magnitude de variação é aceitável ou inaceitável. Então, para facilitar a interpretação, esse valor σ é comparado com alguma referência. A comparação do sigma com os limites de especificação do processo em questão origina a Escala Sigma. Esta é utilizada para medir o nível de qualidade associado a um processo, aonde o Seis Sigma é o valor de excelência, com 99,999998% de resultados perfeitos, isto é, dois defeitos por bilhão de resultados gerados pelo processo (Werkema, 2004). Abaixo, na Figura 12, está a relação em partes por milhão (*ppm*) das escalas três - sigma e seis - sigma.

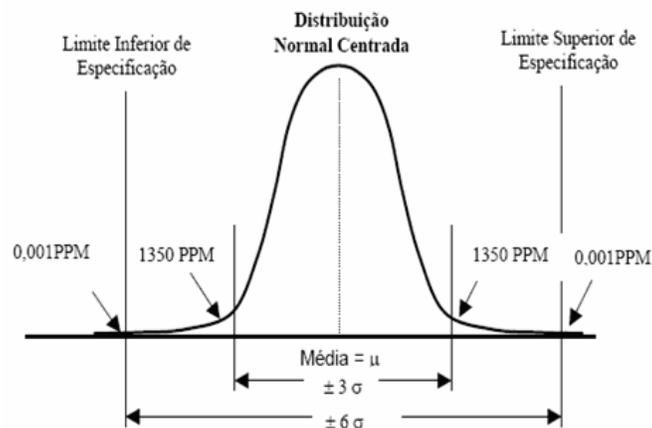


FIGURA 12 Relação das Escalas 3σ e 6σ
Fonte: Werkema (2004)

A próxima figura (Figura 13) apresenta a porcentagem de defeitos em cada nível σ .

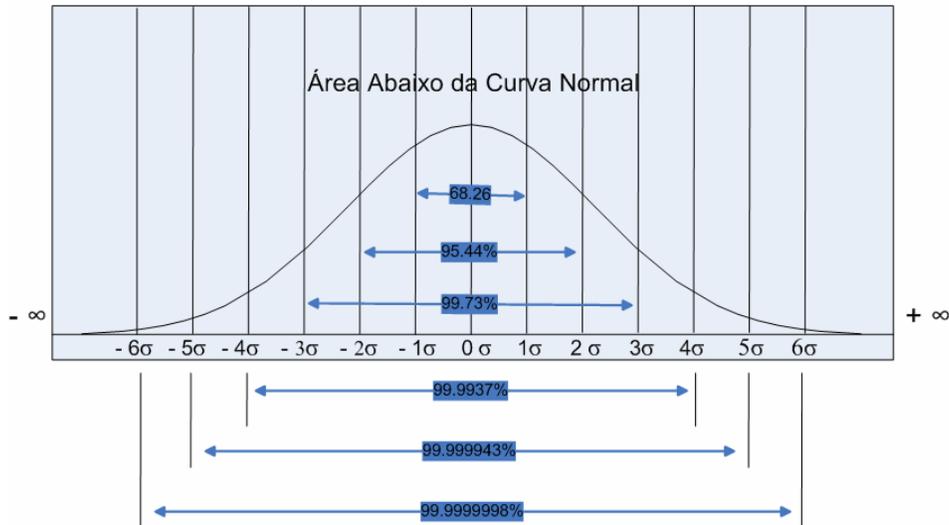


FIGURA 13 Relação das porcentagens de acertos para cada nível Sigma

O valor de Seis Sigma de 0,002 *ppm* é de uma distribuição estatística normal e assume que cada execução do processo produtivo produzirá uma exata distribuição normal de partes centradas com consideração aos limites de especificação. Na realidade, entretanto, os deslocamentos do processo sempre resultam de variações na própria execução do processo. De acordo com Harry (1989), o deslocamento máximo do processo, como indicado em pesquisa, é o sigma 1,5, conforme mostra a Figura 14. Considerando este deslocamento do sigma-1,5 no processo de produção, tem-se o valor de 3,4 *ppm*. Tal deslocamento é ilustrado nas Figuras 15, 16 e 17. Dados limites fixos de especificação, a distribuição do processo de produção pode deslocar-se à

esquerda ou à direita. Quando o deslocamento é o sigma-1,5, a área fora do limite da especificação em uma extremidade é 3,4 *ppm*, e na outra é quase zero.

A definição do Seis Sigma, que considera o deslocamento do sigma-1,5 proposto e usado pela Motorola, transformou-se no padrão da indústria nos termos da qualidade nivelada do Seis Sigma (versus o da distribuição normal centrada Seis Sigma de 0,002 *ppm*). Além disso, quando a distribuição da produção desloca o sigma-1,5 os pontos da interseção da curva normal e os limites da especificação se transformam em 4,5-Sigma em uma extremidade, e 7,5-Sigma na outra (Harry, 1989). Então, considerando esta proposta em que a área fora do 7,5 Sigma é zero, se pode dizer que o Seis Sigma da Motorola é igual ao 4,5-Sigma de uma distribuição normal centrada.

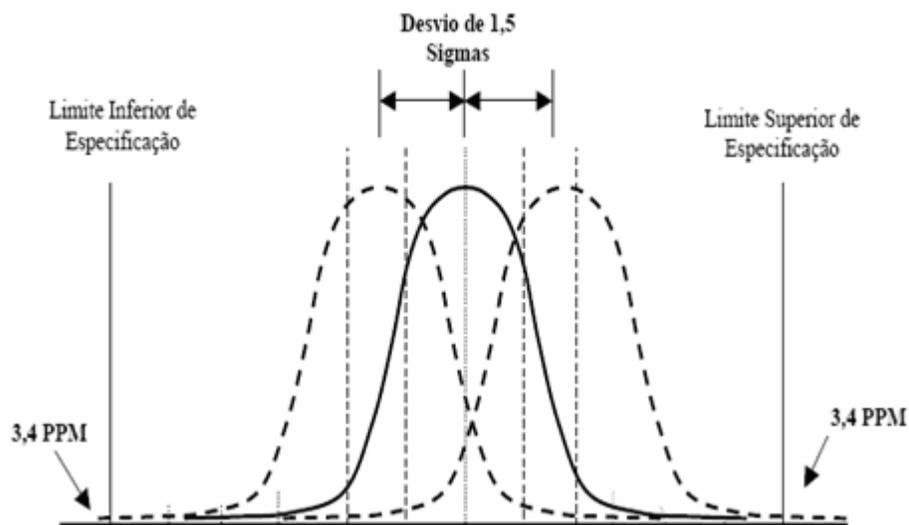


FIGURA 14 Deslocamento da Média do Valor nominal em $1,5\sigma$
Fonte: Harry (1989)

Cada Escala Sigma representa uma área debaixo da curva da distribuição normal, sendo capaz de obter as áreas associadas a cada intervalo como uma proporção da área total sob a curva.

Logo, para se calcular as quantidades de partes por milhão relacionadas à Escala Sigma, tem-se que considerar os dois casos:

Observação: nos cálculos abaixo a letra Z representa a distribuição normal padronizada, ou seja, um caso particular da distribuição normal, de média 0 (zero) e desvio padrão igual a 1 (um).

Se $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, então a variável aleatória definida por

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

terá uma distribuição $N(0,1)$. Esta transformação é ilustrada pela Figura 15.

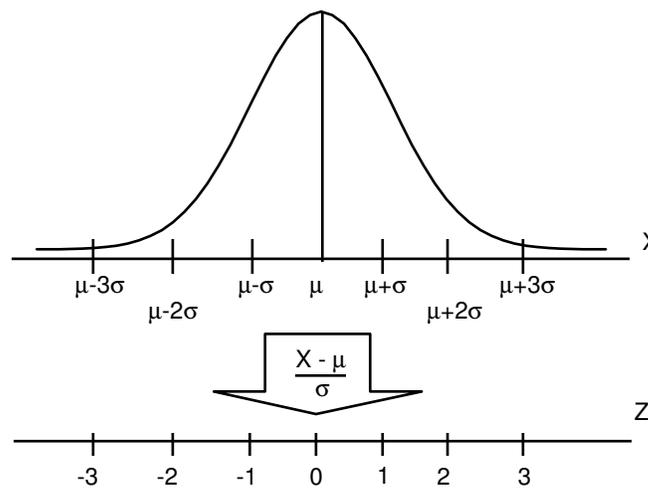


FIGURA 15 Transformação de uma $N(\mu, \sigma^2)$ para uma $N(0,1)$

A área à esquerda de um valor especificado da $N(0,1)$ encontra-se tabelada. Utilizando-se a transformação acima, podemos obter as probabilidades para qualquer $N(\mu, \sigma^2)$.

A média está centrada em um valor nominal:

Para escala 6σ temos que:

$$Z_{\mu-6\sigma} = \frac{(\mu - 6\sigma) - \mu}{\sigma} = -6 \text{ e } Z_{\mu+6\sigma} = \frac{(\mu + 6\sigma) - \mu}{\sigma} = +6$$

Agora a probabilidade de cair fora dos limites seis sigma é:

$$P(\text{fora dos limites } 6\sigma) = P(Z < -6) + P(Z > 6) = 2 * 0,0000000010 = 0,0000000020;$$

Então, em um milhão de unidades produzidas 0,0000002% estará fora dos limites 6σ . Logo, em partes por milhão, tem-se 0,002 ppm.

A Figura 16, a seguir, exemplifica melhor este cálculo:

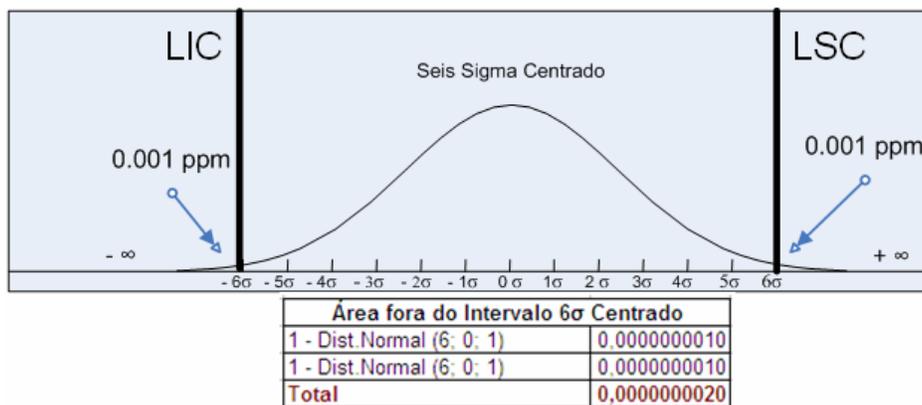


FIGURA 16 Cálculo de defeitos para Seis Sigma Centrado

A média está deslocada em $1,5 \sigma$ do valor nominal para Direita:

Também para escala 6σ temos que:

$$Z_{\mu-7,5\sigma} = \frac{(\mu - 7,5\sigma) - \mu}{\sigma} = -7,5 \text{ e } Z_{\mu+4,5\sigma} = \frac{(\mu + 4,5\sigma) - \mu}{\sigma} = +4,5$$

As probabilidades de cair fora são:

$$P(\text{Fora dos limites } 6\sigma) = P(Z < -7,5) + P(Z > 4,5) = 0 + 0,0000033977 = 0,0000033977$$

Logo, em *ppm* temos que a quantidade de unidades produzidas fora da especificação é de *ppm* 3,4 *ppm*, como representado pela Figura 17 a seguir:

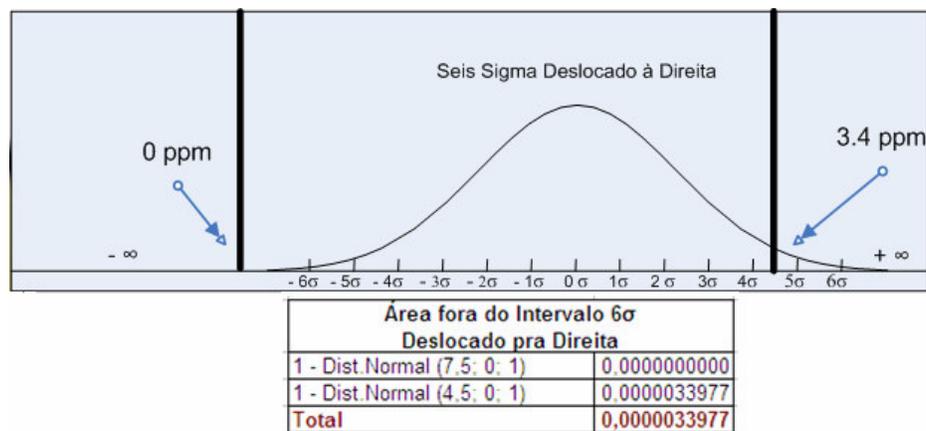


FIGURA 17 Cálculo de defeitos para Seis Sigma Deslocado para Direita

A média está deslocada em $1,5 \sigma$ do valor nominal para Esquerda:

Também para escala 6σ temos que:

$$Z_{\mu-4,5\sigma} = \frac{(\mu - 4,5\sigma) - \mu}{\sigma} = -4,5 \text{ e } Z_{\mu+7,5\sigma} = \frac{(\mu + 7,5\sigma) - \mu}{\sigma} = +7,5$$

As probabilidades de cair fora são:

$$P(\text{Fora dos limites } 6\sigma) = P(Z < -4,5) + P(Z > 7,5) = 0,0000033977 + 0 = 0,0000033977$$

Logo, em *ppm* temos que a quantidade de unidades produzidas fora da especificação é de 3,4 *ppm*, como mostrado na Figura 18:

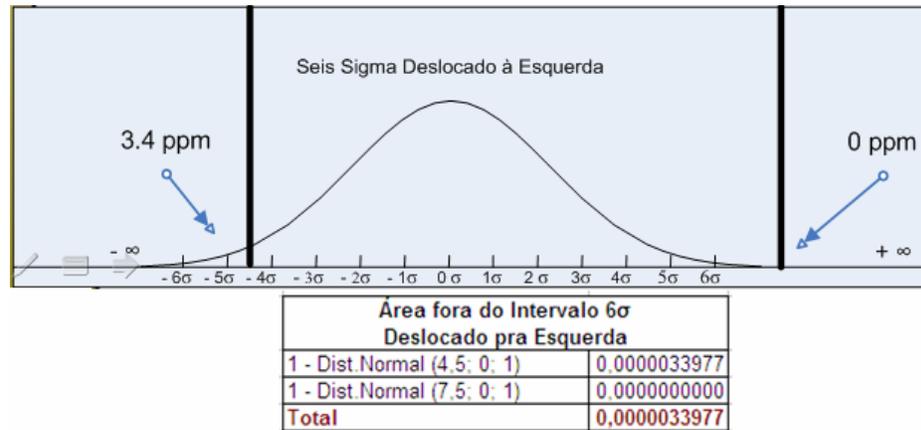


FIGURA 18 Cálculo de defeitos para Seis Sigma Deslocado para Esquerda

A partir daí pode-se construir uma tabela de referência para se comparar as Escalas Sigma, conforme apresentada na Tabela 11.

TABELA 11 Quantidades de defeitos em *ppm* para diferentes Escalas Sigma com média centrada e deslocada em 1.5σ

Limites de Especificação	Porcentagem dentro das Especificação		ppm de Defeitos	
	Sem desvio	Com desvio	Sem desvio	Com desvio
$\pm 1\sigma$	68,27	30,23	317300	697700
$\pm 2\sigma$	95,45	69,13	45500	308700
$\pm 3\sigma$	99,73	93,32	2700	66810
$\pm 4\sigma$	99,9937	99,379	63	6210
$\pm 5\sigma$	99,999943	99,9767	0,57	233
$\pm 6\sigma$	99,999998	99,99966	0,002	3,4

Os cálculos para estes desvios podem ser observados com detalhes no anexo D.

A seguir, serão explicados, nas duas próximas seções deste tópico, alguns conceitos sobre o CEP – Controle Estatístico de Processo (gráficos de controle) e sobre delineamentos experimentais, uma vez que estes são duas das principais ferramentas estatísticas utilizadas dentro da abordagem do Seis Sigma.

Na próxima seção, sobre o Modelo DMAIC, serão abordadas as principais atividades de cada fase deste modelo, bem como um exemplo de sua utilização dentro da realidade de um ambiente de desenvolvimento de software.

2.3.2.2 O Modelo DMAIC

Este método é o coração do Seis Sigma, no qual há necessidade de se construir equipes formadas pelos patrocinadores, mencionados anteriormente, que irão executar os projetos com base neste método. Ele é constituído de cinco etapas, são elas:

1. *D* - Definir;
2. *M* - Medir;
3. *A* - Analisar;
4. *I* - Melhorar, em inglês *improve*;
5. *C* - Controlar.

Dentro destas etapas encontram-se as ferramentas do controle estatístico de processo (CEP) e outras ferramentas estatísticas. A seguir, tem-se a Figura 19 relacionando as fases do DMAIC com algumas das ferramentas estatísticas:

Definir	Medir	Analisar	Melhorar	Controlar
Pareto	RR Atributo RR Variável Tendência Capacidade	Causa-Efeito Tamanho de Amostra Comparação Médias Comparação Variâncias Comparação Proporções Regressão, Correlação CEP	DOE – Fatorial Fracionário DOE – Fatorial Completo DOE – Superfície Resposta Otimização de Respostas	CEP – Individual (I-MR) CEP – Médias (Xbar-R) CEP – I-MR-R CUSUM Atributo

FIGURA 19 Mapeamento entre Ferramentas estatísticas X Fases do DMAIC

Para mais detalhes sobre as fases do modelo DMAIC, deve-se consultar Werkema (2004). A seguir é apresentado um exemplo da utilização do DMAIC dentro do contexto de desenvolvimento de software.

Um Exemplo da Utilização do DMAIC

Para entender melhor a utilização do modelo DMAIC dentro do contexto de desenvolvimento de software, esta seção apresenta um exemplo que segue algumas atividades importantes, a serem consideradas dentro de cada uma das fases do DMAIC.

Em um primeiro momento, os principais problemas dentro do contexto produtivo da empresa devem ser identificados. Porém, não do ponto de vista de seus trabalhadores, mas do ponto de vista dos clientes, pois nesse momento, a opinião que vale é a destes últimos.

A identificação desses problemas pode se dar de várias formas, por exemplo, por meio de questionários elaborados para que os clientes expressem suas opiniões com relação ao serviço prestado ou o produto oferecido. A Figura 20, a seguir, representa esta necessidade de comunicação entre a empresa e o cliente.

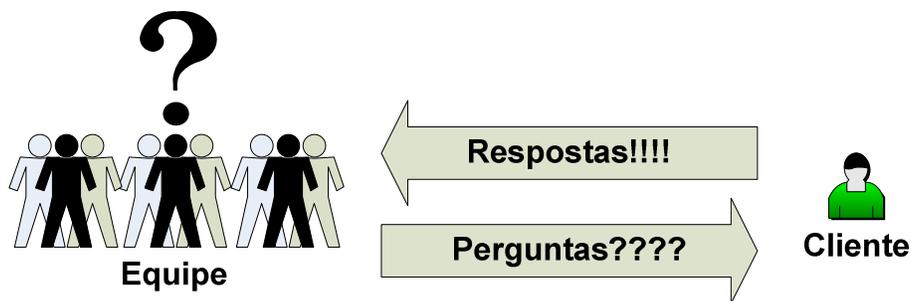


FIGURA 20 Exemplo de Utilização do DMAIC: Identificação dos Problemas

Após a identificação dos problemas junto aos clientes interessados, o próximo passo é definir quais os problemas devem ser tratados primeiro, ou seja, quais são os problemas prioritários. De acordo com a metodologia do Seis Sigma, deve-se escolher o problema que está prejudicando mais, causando mais prejuízos para a empresa, tornando os clientes insatisfeitos, aquele que lhe trará mais benefícios se for resolvido.

Para isto, dentre as várias ferramentas estatísticas que podem ser utilizadas, pode-se usar o gráfico de pareto, no qual é expresso, em termos de porcentagem, o peso que cada problema tem dentro da empresa, influenciando na insatisfação dos clientes. A Figura 20 expressa uma situação em que os problemas foram identificados, e, utilizando o gráfico de pareto, priorizados.



FIGURA 21 Exemplo de Utilização do DMAIC: Definir

Uma vez sendo priorizados, os problemas passam a ser tratados. A próxima fase é a fase de medição, na qual as variáveis relacionadas aos problemas são identificadas. Neste exemplo o problema a ser atacado inicialmente é o “Prazo”, pois é o que mais influencia na insatisfação dos clientes.

Como se trata de um exemplo da utilização do DMAIC voltado para um contexto de desenvolvimento de software seguindo o processo de medição proposto nesta dissertação, temos que os dados coletados com relação às variáveis identificadas serão armazenados na ferramenta PSM Insight, como explicada anteriormente.

Neste caso, as variáveis relacionadas ao problema ‘Prazo’, identificadas como importantes para serem medidas foram: Tempo das Atividades, Experiência da Equipe e Linguagem de Programação. A Figura 22 apresenta graficamente a sua identificação.

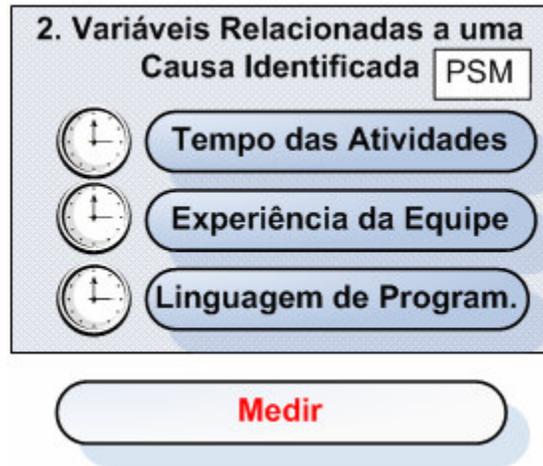


FIGURA 22 Exemplo de Utilização do DMAIC: Medir

Após a coleta dos dados referentes às variáveis identificadas, estes passam a ser analisados. Esta análise se dá por meio de um controle estatístico de processo – CEP, na qual gráficos de controle são gerados e *brainstorming* realizados. A partir de gráficos de controle para cada uma das variáveis é possível identificar causas especiais que influenciam no processo.

Neste exemplo, a sexta observação expressa no gráfico de controle, mostrado na Figura 23, expressa a identificação de uma causa especial.

Após a identificação de causas especiais, podem ser realizadas reuniões de *brainstorming* com os envolvidos neste processo produtivo, com a finalidade de se discutir sobre as possíveis causas para as observações fora dos limites estabelecidos. Neste exemplo isto é representado pela sexta observação da variável ‘Tempo das Atividades’.

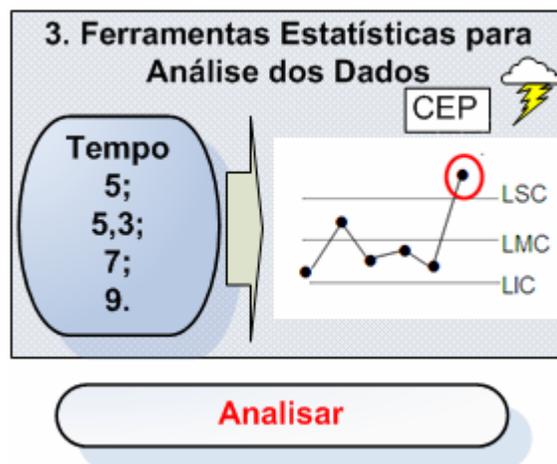


FIGURA 23 Exemplo de Utilização do DMAIC: Analisar

A partir do momento em que as observações fora dos limites, superior ou inferior, estabelecidos são encontradas, discutidas e identificadas suas causas, o processo passa a se tornar estável, ou seja, com influência de apenas causas aleatórias. Neste momento, as melhorias podem ser propostas, visando diminuir a variabilidade do processo.

Essas melhorias se dão principalmente por meio de delineamentos experimentais. Alguns experimentos são montados considerando as variáveis importantes relacionadas ao problema em questão, bem como os fatores que nelas influenciam.

A partir destes delineamentos experimentais, normalmente em fatoriais – aonde todos os fatores cruzam (são combinados) com todos, e da identificação de significatividade de influência dos fatores para com estas variáveis, algumas propostas de melhoria ao processo são levantadas, e ele passa, então, por algumas alterações.

Resumindo a idéia desta fase com o exemplo, tem-se: para o problema ‘Prazo’, considerando a variável ‘Tempo das Atividades’ e o fator de influência

na mesma Linguagem de Programação, montou-se um Delineamento Experimental (DOE). Como resultado deste experimento, foi identificado um tempo gasto acima do normal, e de significativa diferença estatística, para atividades realizadas na linguagem de programação Java, em comparação com outras linguagens de programação.

Com base nestas informações, a proposta de melhoria identificada neste caso foi um treinamento voltado à linguagem de programação Java, a fim de diminuir esta variabilidade entre o “Tempo das Atividades”. A Figura 24 abaixo exemplifica o que foi discutido nesta fase.

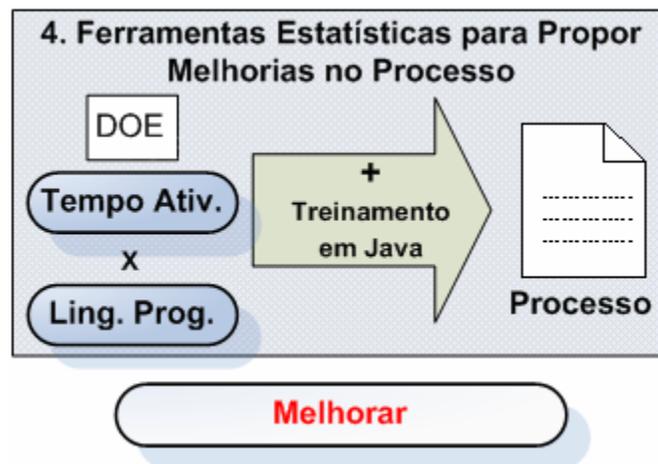


FIGURA 24 Exemplo de Utilização do DMAIC: Melhorar

Por último, mas não menos importante, tem-se a fase de Controle, pois uma vez que o processo com relação a um problema - e mais especificamente a uma determinada variável vinculada a este problema - foi estabilizado, deve-se cuidar para que ele mantenha-se controlado, com observações dentro dos limites de controle estabelecidos no gráfico de controle, assim como mostra a Figura 25.

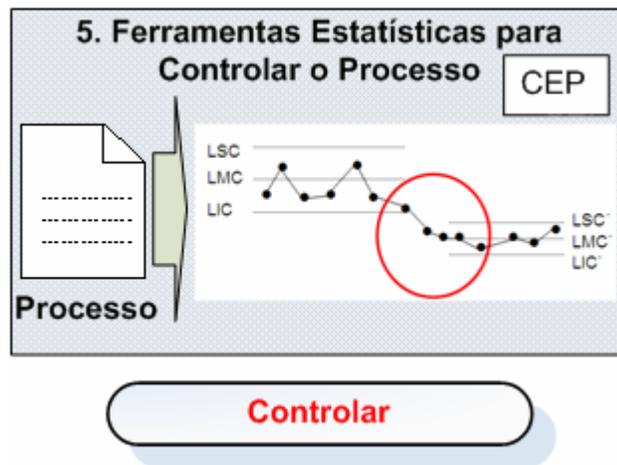


FIGURA 25 Exemplo de Utilização do DMAIC: Controlar

Com este exemplo, tentou-se esclarecer um pouco como se dá a utilização do DMAIC, a ser utilizado no Processo de Medição proposto nesta dissertação, que será mais detalhado no item 4.1.3 Processo de Medição de Software.

Todas as fases explicadas nesta seção, bem como as atividades aqui detalhadas, devem ser consideradas e realizadas pela empresa para todos os problemas identificados como importantes, assim como para suas respectivas variáveis influenciadoras.

2.3.2.3 Considerações Finais sobre a Seção

Para que uma empresa desenvolvedora de software atinja o nível 4 e 5 do CMMI, esta deve realizar, respectivamente, gerência quantitativa e melhoria contínua do processo. Neste contexto, considerando a importância da metodologia Estatística do Seis Sigma no mundo e sua aplicabilidade dentro do processo produtivo das empresas, escolheu-se esta metodologia para dar base ao Processo de Medição de Software proposto nesta dissertação.

2.3.3 Controle Estatístico de Processo

Deming (1990) afirma que, para finalidades analíticas (tais como para melhoria de um processo da organização), as análises estatísticas não têm qualquer valor prático para se fazer a melhoria de um processo, a não ser que os dados sejam produzidos por um sistema (um processo) que esteja em um estado de controle estatístico. O primeiro passo no exame de dados estatísticos é, portanto, segundo Deming, questionar o estado de controle estatístico que produziu esses dados. Tais conceitos são também aplicáveis à melhoria de processos de software, segundo reconhece Humphrey (1988), sendo que a maneira mais fácil de examinar os dados é colocá-los numa carta de controle, na ordem em que são produzidos, para se averiguar qual proveito pode ser tirado da distribuição dos dados ao longo da carta.

2.3.3.1 A carta de controle

A carta (ou gráfico) de controle de processo, também conhecida como carta de controle de Shewhart, é uma técnica usada para medição e análise do comportamento de um processo. No âmbito da engenharia de software, ela pode ser utilizada para medir e analisar o desempenho das atividades que produzem o produto de software (Florac & Carleton, 1999), sendo essencial para o gerenciamento quantitativo, predição, controle e melhoria dessas atividades com vistas a alcançar, de forma mais efetiva, as metas de negócio da organização.

A carta de controle de processo é um gráfico que consiste numa linha central (LC), um limite inferior de controle (LIC) e um limite superior de controle (LSC), e valores do parâmetro de interesse (uma característica do processo), grafados seqüencialmente ao longo do tempo, que representam o estado atual de um processo.

A linha central representa um valor central ou médio das medidas da característica do processo. Os limites de controle – que são estimativas dos

limites do processo, baseadas nas medições do parâmetro em consideração - indicam fronteiras para separar e identificar pontos excepcionais; estes limites de controle se encontram à distância de 3-sigma (ou 3σ) da linha central (sigma, σ , é o desvio padrão). Se todos os valores do parâmetro em exame estão dentro dos limites de controle, sem qualquer padrão anormal, o processo apresenta somente causas comuns de variação e é dito estar sob estado controlado estatisticamente, sendo considerado um processo estável; caso contrário, o processo apresenta também causas especiais de variação, e é dito estar fora de controle estatístico, sendo considerado um processo instável, caso em que a análise de causas deve ser feita e ações corretivas tomadas para se alcançar a estabilidade do processo. A Figura 26 ilustra dois exemplos de cartas de controle.

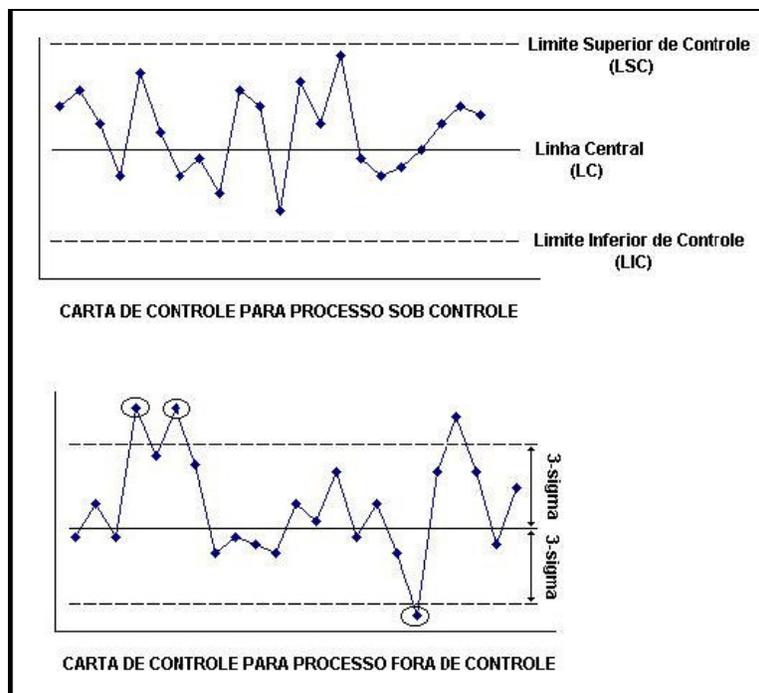


FIGURA 26 Exemplos de cartas de controle
Fonte: Oliveira (2006)

A teoria estatística, que é a base teórica utilizada por Shewhart para o cálculo dos limites de controle, baseia-se na idéia de que, sendo o processo estável, então uma estatística qualquer calculada com base nos dados fornecidos pelas amostras tem uma probabilidade próxima de um (de 100%) de estar no intervalo de mais ou menos três desvios padrões, de maneira que, quando um valor observado cai fora desse intervalo, assume-se não que um evento raro ocorreu, mas sim que não estamos mais lidando com o mesmo processo (isto é, o processo sofreu alteração), indicando que a hipótese de estabilidade do processo já não é válida, denunciando a presença de uma causa especial de variação (Rotondaro, 2002).

3.3.3.2 Causas Comuns e Causas Especiais de Variação

A causa comum de variação é uma fonte de variação aleatória inerente ao processo, que afeta todos os valores individuais de uma determinada característica deste, sob medição. É também denominada causa aleatória de variação. Este tipo de variação está diretamente relacionado ao erro aleatório da medição, sendo resultante de diversas origens, que compõem um sistema constante de causas aleatórias, sem que nenhuma tenha predominância sobre a outra; por exemplo, medições precisas de uma observação, feitas por diferentes indivíduos – que dizem respeito à reprodutividade do processo de medição - não são exatamente iguais. Outro exemplo é a variabilidade nas medidas obtidas com um instrumento de medição, quando este é usado várias vezes por um avaliador, medindo uma mesma característica numa observação (repetitividade de um processo de medição). Enquanto os valores individuais diferem entre si, quando estes são agrupados, formam uma distribuição de probabilidade - que pode ser caracterizada pela localização (centro da distribuição), dispersão (variabilidade dos valores individuais) e forma (perfil da distribuição) – fato que é levado em consideração para a escolha do tipo de carta de controle mais adequado para a

análise dos dados. A variação, devido a causas comuns, só pode ser reduzida pela mudança do próprio processo, reprojeto-o. A redução deste tipo de variação - que é o alvo da melhoria contínua de processos - é almejada porque, uma vez conseguida, resulta num processo com maior produtividade (Deming, 1990) e, portanto, mais efetivo, conforme mostrado no Quadro 9.

A causa especial de variação é um fator identificável oriundo de eventos passageiros, que gera variações não aleatórias (padrões anormais dos dados) e que afetam o processo de maneira imprevisível, de maneira que nenhuma distribuição de probabilidade pode ser obtida. É também denominada causa identificável de variação. Este tipo de variação está relacionado com o erro sistemático da medição e com fatores anormais discerníveis que ocorrem perturbando (isto é, alterando) o processo. Exemplos de causas especiais são: mudanças de características de materiais e ferramentas usadas no processo, erros operacionais, entre outros. A remoção completa de causas especiais de variação deve ser feita para que se tenha um processo estável, condição essencial para a implementação de melhoria neste processo, conforme mostrado na Tabela 12.

TABELA 12 Importância das Causas de Variação no Processo

Causa de Variação	Importância no Processo
<i>Identificável</i>	<i>Sua remoção torna o processo estável</i>
<i>Aleatória</i>	<i>Sua redução permite a melhoria de um processo estável</i>

Fonte: Oliveira (2006)

Importância da Estabilidade do Processo

O processo estável - aquele em que somente causas aleatórias de variação estão presentes - é importante porque, entre outras coisas:

- As distribuições de probabilidade dos dados de desempenho do processo são consistentes no decorrer do tempo - o processo possui uma identidade. Comparando as Figuras 27 e 28 pode-se perceber uma diferença entre as distribuições de probabilidade;
- A Capacidade do Processo, a qual descreve o seu desempenho (o que ele pode alcançar) em termos de resultados estimados, se torna previsível (resultados inesperados são extremamente raros);
- Os custos envolvidos são previsíveis;
- Sob tal sistema constante de causas aleatórias, a produtividade está no máximo (e os custos, no mínimo), de maneira que melhoria somente é possível pela mudança do próprio processo;
- Tem-se um Processo Repetível, cujos dados podem ser usados como *baseline* (banco de dados históricos) para melhoria de processo.

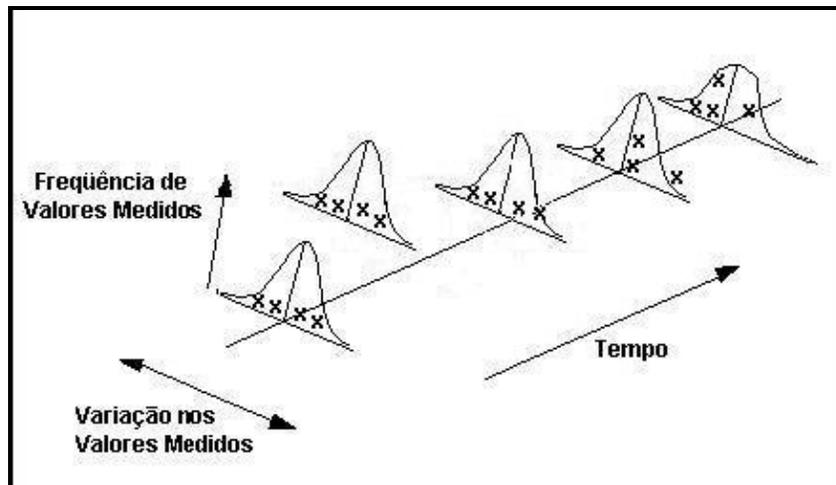


FIGURA 27 Processo Instável (ou Descontrolado Estatisticamente)
Fonte: Oliveira (2006)

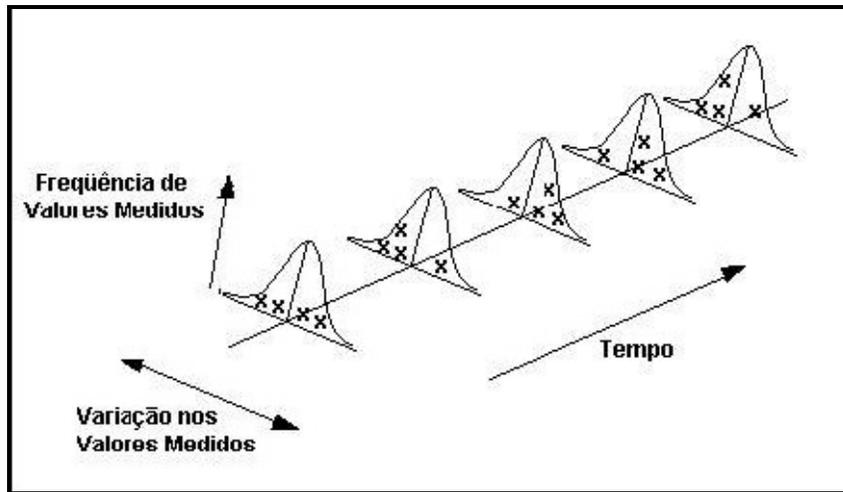


FIGURA 28 Processo Estável (sob Controle Estatístico)

Fonte: Oliveira (2006)

A estabilidade de processo se mantém até que um evento ocorra, tal que haja mudança no processo ou em suas entradas; tal mudança é desejável somente se for resultante de melhoria (Florac & Carleton, 1999). Assim sendo, fatores que têm influência no processo devem ser constantemente monitorados, a fim de se sustentar a estabilidade e evitar o advento das forças de entropia – tendência que os processos possuem de se deteriorar, indo de um estado controlado a um estado caótico, se forem deixados sozinhos, órfãos de gestão e acompanhamento.

2.3.3.3 A capacidade do processo

Num processo estável, os limites de controle descrevem o que o processo é “capaz” de fazer, em termos de resultados observados no próprio processo funcionando (isto é, a realidade do processo, aquilo que ele realmente é capaz de fazer). Esta afirmação de capacidade de processo é oriunda da teoria

original do CEP, e não deve ser confundida com a definição de capacidade própria da área de software. A seguir tem-se uma correspondência entre estes dois conceitos que utilizam a mesma palavra “capacidade” para defini-los.

Capacidade do ponto de vista da teoria original do CEP

A capacidade do processo (Tabela 13) é definida a partir de uma comparação dos limites de especificação (ou de engenharia), que expressam as especificações esperadas para aquele processo. Essas especificações que o processo pode alcançar ou não, com a realidade do processo, são expressas pela média e variabilidade. Há o limite superior de especificação (LSE), o inferior (LIE) e o limite central (LCE).

TABELA 13 Limites Naturais do Processo versus Capacidade do Processo

Numa carta de controle de valores individuais:	
LIMITES NATURAIS DO PROCESSO => CAPACIDADE DO PROCESSO	
(Variação aleatória do Processo)	(Resultados Esperados)

Fonte: Oliveira (2006)

A fim de verificar se a capacidade do processo atende às especificações do cliente podem-se usar duas alternativas:

1ª) Representações gráficas – nas cartas de controle e histogramas, os limites naturais do processo são comparados com os limites de especificação;

2ª) Índices específicos para esse fim, denominados de Cp e Cpk. O índice de capacidade de processo Cp é definido como a razão entre a tolerância da especificação - diferença entre os limites superior (LSE) e inferior de especificação (LIE) - e a dispersão total do processo, representada por amplitude (R) ou desvio padrão (σ , substituído pela suas estimativas amostrais s e R). Isto é ilustrado na Tabela 14, a seguir. Quanto maior o valor de Cp, maior a

capacidade do processo, sendo que um valor de $C_p > 1$ indica que o processo é capaz de atender às especificações do cliente. As fórmulas dadas a seguir baseiam-se em Oliveira (2006).

TABELA 14 Fórmula: Índice de Capacidade de Processo C_p

Cálculo do Índice C_p	
$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{LSE - LIE}{6 \frac{\bar{R}}{d_2}} = \frac{LSE - LIE}{6 \frac{\bar{s}}{c_4}}$	

Nota: Os termos d_2 e c_4 são fatores estatísticos para correção de viés. (Anexo E)

A definição do índice C_p pressupõe que o processo está centrado no valor nominal da especificação; se este não é o caso, a capacidade real do processo é menor do que a indicada por C_p . Em tal situação, convém a utilização do índice C_{pk} – considerado um ajuste de C_p para o efeito de distribuição não centrada. O índice C_{pk} avalia a distância do valor central do processo aos limites da especificação, tomando aquela que é menor e, portanto, mais sujeita a propiciar resultados fora de especificação. O cálculo do índice C_{pk} é mostrado na Tabela 15, a seguir:

TABELA 15 Fórmula: Índice de Capacidade do Processo C_{pk}

Cálculo do Índice C_{pk}	
$C_{pi} = \frac{\bar{X} - LIE}{3 \frac{\bar{R}}{d_2}} = \frac{\bar{X} - LIE}{3 \frac{\bar{s}}{c_4}}$	$C_{ps} = \frac{LSE - \bar{X}}{3 \frac{\bar{R}}{d_2}} = \frac{LSE - \bar{X}}{3 \frac{\bar{s}}{c_4}}$
$C_{pk} = \min \{C_{pi}, C_{ps}\}$	

Capacidade do Ponto de Vista do CMMI

Neste caso, capacidade de processo seria um intervalo estatístico de previsão, que permite posicionar o cliente, ou o próprio gerente de projeto, quanto aos resultados possíveis que ele pode esperar para aquele processo. Estes intervalos seriam calculados, qualquer que sejam eles, fazendo-se uso da média e do desvio padrão dos dados. Ainda mais, após seu cálculo, inevitavelmente, o cliente, ou o gerente de projeto, compararão tais intervalos com suas expectativas (suas “especificações”).

Logo, a capacidade de processo de software fará um trabalho semelhante à capacidade de processo de CEP, permitindo-nos, então, dizer que, apesar de serem conceitos diferentes, são afins. Não haverá nenhum risco na igualdade dos nomes, se o usuário deles estiver esclarecido de seus significados e utilidades, podendo mesmo se beneficiar do uso conjunto das duas “capacidades”.

2.3.4 Delineamentos Experimentais

A Estatística Experimental trata dos métodos apropriados para o planejamento e para a análise dos experimentos.

A maior ênfase deve ser dada ao planejamento e às interpretações dos resultados obtidos nas análises.

Segundo Stell e Torrie (1980), a análise de variância, introduzida por Ronal A. Fisher está essencialmente voltada a um processo de estudo de soma de quadrados e dos componentes associados a conhecidas fontes de variação, podendo ser usada em todos os campos de pesquisa onde os dados são mensurados quantitativamente.

Atualmente, como se observa, há uma grande disponibilidade de ferramentas computacionais voltadas para a análise de dados, bastando poucas informações sobre o funcionamento do software para que o pesquisador execute qualquer tipo de cálculo estatístico.

Este tópicos inclui exemplos de delineamentos experimentais aplicados a um contexto de desenvolvimento de software, visando facilitar o entendimento sobre análises experimentais por parte dos mais familiarizados com processos de software.

2.3.4.1 Conceitos Fundamentais

O estudo científico de um fenômeno consiste essencialmente na observação de fatos e no estudo de teorias relacionadas a ele. Por meio da formulação de hipóteses sobre ele e da verificação da veracidade destas hipóteses, diretamente ou analisando suas conseqüências, obtém-se o conhecimento científico. A Figura 29 resume o método científico.

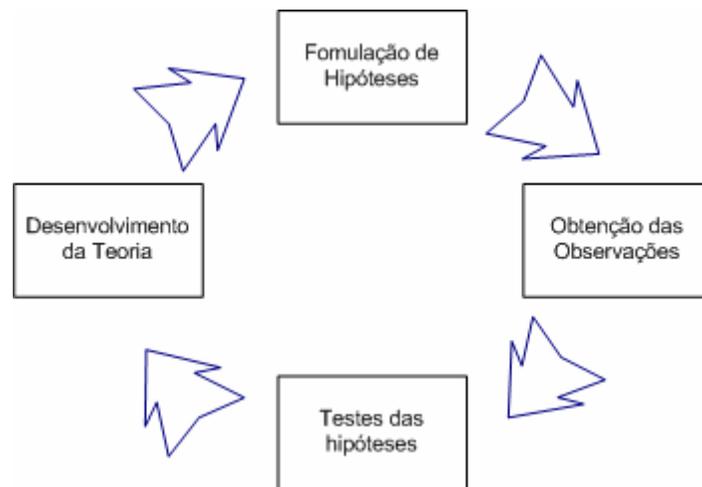


FIGURA 29 O Método Científico
Fonte: Lima & Abreu (2001)

Para que as conclusões realizadas sejam confiáveis, é necessário que as experiências sejam planejadas e conduzidas sob condições previamente estabelecidas e as observações analisadas utilizando determinados critérios. A

seguir, serão conceituados os principais termos que são frequentemente empregados no planejamento e na análise de experimentos.

Experimento: é o processo que permite a coleta de observações sob condições previamente determinadas.

Dados Experimentais: são as observações obtidas dos experimentos. Os dados experimentais refletem a influência de diferentes variáveis, além do fator em estudo. Estas variáveis são influenciadas pelo ambiente experimental e podem ser controláveis ou não.

Fator: é a variável cujo efeito se deseja conhecer e avaliar no experimento. Por exemplo, em um experimento em software, onde o objetivo é avaliar o Esforço demandado para sua construção, o fator a ser estudado poderia ser a “organização responsável pelo desenvolvimento”. Em outro ensaio, para avaliar o tamanho do software, os fatores em estudo poderiam ser “linguagem de programação” e “tipo de componente de software”.

Resposta ou Variável Resposta: é a variável a ser medida ou avaliada no experimento, gerando os dados, isto é, os efeitos. No estudo do Esforço, poderia ser medida a quantidade de horas para cada atividade executadas por diferentes organizações responsáveis. Em um mesmo experimento pode-se ter, simultaneamente, mais de uma variável resposta, como, por exemplo, no ensaio sobre o Tamanho do Software: número de linhas de código, número de linhas de código modificadas, etc.

Variáveis de Ambiente: é cada uma das condições em que será realizado o experimento. No exemplo do Esforço poderiam ser citadas: as diferenças de personalidade dos desenvolvedores de cada organização, os diferentes computadores nos quais serão realizadas as atividades, as diferenças entre os aparelhos de medição utilizados para contar o tempo de cada atividade entre muitas outras. No exemplo do Tamanho do Software: a diferença de estilo de programação de cada desenvolvedor, os técnicos que irão fazer a contagem

das linhas de código etc. Uma variável de ambiente não é um fator de estudo, isto é, um experimento não é realizado para conhecer seus efeitos.

Algumas das variáveis de ambiente podem ser controladas pelo experimentador, mas muitas não são controláveis e podem afetar os dados a ponto de mascarar os efeitos dos fatores em estudo. A Figura 30 apresenta o modelo para um experimento:

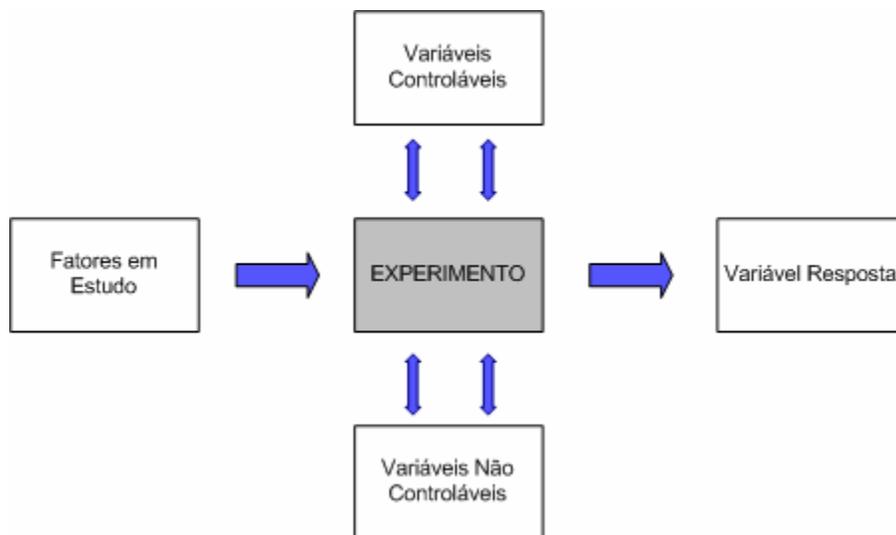


FIGURA 30 As variáveis em um experimento
Fonte: Lima & Abreu (2001)

Tratamento: o termo tratamento é utilizado para caracterizar os valores (tipos ou níveis) que um fator pode assumir em um determinado experimento. Como exemplo, em um ensaio, onde se procura estudar o efeito de um catalisador em uma reação química, o fator é “Catalisador” e os tratamentos podem ser:

Tratamento 1 – Ausência de Catalisador

Tratamento 2 – Presença de Catalisador

2.3.4.2 Estudo da Variabilidade dos Dados

Pode-se considerar que, de uma maneira simplista, o objetivo em um experimento é saber se os tratamentos têm médias iguais. Os tratamentos são amostras e se estas amostras foram retiradas de uma mesma população, suas médias serão estimativas de um mesmo parâmetro: a média populacional. Neste caso, as médias dos tratamentos não deveriam diferir entre si. Se as médias são diferentes entre si, então as amostras (tratamentos) não pertencem a uma mesma população e a conclusão é que realmente os tratamentos têm efeitos diferentes (por exemplo, uma variedade é mais produtiva que a outra).

Como existem outras fontes de variação afetando os resultados de um experimento, além do efeito dos tratamentos, não é possível tomar uma decisão com base apenas nas médias dos tratamentos.

Variabilidade

Todo conjunto de dados numéricos possui uma variabilidade entre seus componentes. Por exemplo, seja o conjunto seguinte cujos valores representam tempo em horas:

$$W = \{2,0; 2,2; 2,3; 2,5; 3,0; 3,2; 2,8; 2,9; 2,4; 2,7\}$$

Por meio de um cálculo simples pode-se ter uma idéia da variabilidade deste conjunto: determina-se a soma dos quadrados dos desvios de cada dado em relação à média do conjunto. A média deste conjunto é 2,6 Horas e a soma de quadrados dos desvios:

$$SQD = (2,0 - 2,6)^2 + (2,2 - 2,6)^2 + \dots + (2,7 - 2,6)^2 = 1,32 \text{ Horas}^2$$

Seja o conjunto W, agora dividido em dois outros, W_1 e W_2 , da seguinte forma:

$$W_1 = \{2,0; 2,2; 2,3; 2,5; 3,0\} \quad \text{Média} = 2,4 \text{ Horas}$$

$$W_2 = \{3,2; 2,8; 2,9; 2,4; 2,7\} \quad \text{Média} = 2,8 \text{ Horas}$$

Pode-se calcular a variabilidade em cada um destes conjuntos por:

$$\text{SQD em } W_1 = (2,0 - 2,4)^2 + (2,2 - 2,4)^2 + \dots + (3,0 - 2,4)^2 = 0,58 \text{ Horas}^2$$

$$\text{SQD em } W_2 = (3,2 - 2,8)^2 + (2,8 - 2,8)^2 + \dots + (2,7 - 2,8)^2 = 0,34 \text{ Horas}^2$$

Algumas indagações simples podem ser feitas:

- Mas, o que significam estas médias de variabilidade?
- Porque os números do conjunto W_1 são mais variáveis do que aqueles do conjunto W_2 ?
- Porque a soma das SQD em W_1 e em W_2 não é igual a SQD do conjunto todo?

Para responder estas perguntas é necessário conhecer a origem destes números.

Causas de Variabilidade

Considere que o conjunto W representa o tempo, em Horas, de uma atividade realizada em um processo de desenvolvimento de software:

Neste caso, é razoável supor que a variabilidade observada no conjunto de dados W seja devida a:

- Variabilidade na complexidade das atividades;
- Variações na condução do experimento (variação quanto aos desenvolvedores - funcionários realizadores - de cada atividade, na marcação do tempo das atividades e outros);
- Outras causas aleatórias (perda de dados referente ao desenvolvimento dos softwares, vírus nos computadores utilizados para o desenvolvimento, instabilidade na saúde dos desenvolvedores das atividades etc).

Considere agora que o subconjunto W_1 contém o tempo das atividades do desenvolvimento de um determinado software em uma linguagem de programação X e W_2 o tempo das atividades para o mesmo software, todavia,

relacionadas às atividades desenvolvidas em uma linguagem de programação Y qualquer. Assim, mais uma fonte de variação deve ser considerada como presente no conjunto W: as duas diferentes linguagens de programação. Estas diferentes linguagens são os tratamentos que propositadamente foram incluídos no experimento, pois é do interesse do pesquisador compará-los. Diz-se então que o conjunto W representa os resultados de um experimento com dois tratamentos e com 5 repetições para cada tratamento.

Análise da Variabilidade

O problema em questão resume-se em testar a hipótese de que os tratamentos têm o mesmo efeito. Para os conjuntos W_1 e W_2 , as médias foram 2,4 e 2,8 Horas respectivamente. Como existem outras fontes de variabilidade afetando estas médias, além do efeito das linguagens, não é possível basear apenas nestes dois valores para concluir que a linguagem 2 é realmente a mais produtiva.

A técnica estatística para resolver este problema foi introduzida por R. A. Fisher, na década de 20, e é chamada de **Análise de Variância**, como já citado. O primeiro passo consiste na formalização da hipótese a ser testada. A hipótese de que não existem diferenças entre os efeitos dos tratamentos de um experimento pode ser formalizada do seguinte modo:

$$H_0: T_1 = T_2 = \dots = T_I$$

Onde H_0 significa “hipótese de nulidade” e T_i representa o efeito do tratamento i . Então se H_0 for verdadeira, concluímos que não existem diferenças entre os efeitos dos tratamentos. A hipótese alternativa é que existe pelo menos uma diferença entre efeitos de tratamentos.

Em seguida deve ser verificado quanto da variabilidade observada entre as médias dos tratamentos é devida exclusivamente aos efeitos dos tratamentos.

Os cálculos necessários para esta análise são resumidos e apresentados no quadro da Análise de Variância.

Quadro da Análise de Variância

A variabilidade presente em um ensaio é analisada com o auxílio de um quadro padrão denominado Quadro da Análise de Variância (Tabela 16), cujo modelo é apresentado a seguir e no qual as colunas referem-se a:

Fontes de Variação: nesta coluna são descritas as causas de variabilidade dos dados do experimento. O interesse do pesquisador está em conhecer o efeito dos Tratamentos. As outras fontes de variabilidade podem ser agrupadas em uma só designada Erro Experimental ou Resíduo (correspondente à variabilidade existente Dentro dos Tratamentos).

Graus de Liberdade: a cada fonte de variação está associado um número de graus de liberdade.

SQ: são as somas dos quadrados de desvios ou simplesmente SOMAS DE QUADRADOS calculadas para cada fonte de variação.

QM: os QUADRADOS MÉDIOS são dados pelas razões entre as Somas de Quadrados e os seus respectivos graus de liberdade.

F_c : é o valor obtido para a estatística do teste de F.

TABELA 16 Quadro de Análise de Variância

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Entre Tratamentos	GLEntre	SQEntre	SQEntre/ GLEntre	QMENTre/ QMDentro
Dentro de Tratamentos	GLDentro	SQDentro	SQDentro/ GLDentro	
Total	GLTotal	SQTotal		

Observa-se que a Variabilidade Total existente nos dados do experimento será dividida em:

Variabilidade Dentro de Tratamentos: provocada por várias fontes de variabilidade, exceto tratamentos; e

Variabilidade Entre Tratamentos: provocada pelos tratamentos e por outras fontes de variabilidade.

Esta análise é usualmente designada Análise de Variância e permite verificar quanto da variação observada entre as médias dos tratamentos é devida exclusivamente aos efeitos dos tratamentos. A Variação Dentro de Tratamentos é denominada Erro Experimental, pois é proveniente das diferenças entre parcelas que receberam o mesmo tratamento. Com a estimativa do erro experimental, a hipótese de igualdade dos efeitos dos tratamentos pode ser testada nesta análise. Pode ser demonstrado que os Quadrados Médios de Tratamentos e do Erro Experimental são estimativas de variâncias e o teste F de Snedecor é apropriado para a razão de variâncias, indicando se são estimativas do mesmo parâmetro ou não.

Procedimento Geral

Seja um experimento com I Tratamentos, cada tratamento com J repetições. X é a variável resposta e os dados observados serão representados por X_{ij} , onde i refere-se ao tratamento e j refere-se à repetição. O número total de parcelas é $N = I \times J$.

Após a coleta das observações, os dados são organizados em uma tabela, conforme a Tabela 17, a seguir:

TABELA 17 Quadro das Observações

Tratamentos	Repetições				Totais de Tratamentos
	1	2	...	J	
1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1J}	T_1
2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2J}	T_2
...
I	X_{I1}	X_{I2}	...	X_{IJ}	T_I

Fontes de Variação: a variação observada entre todos os dados, também chamada de Variação Total, é dividida em Variação Entre Tratamentos (Tratamentos) e Variação Dentro de Tratamentos (Resíduo ou ERRO EXPERIMENTAL).

Graus de Liberdade (GL): para “Tratamentos” é a quantidade de tratamentos menos um (I-1). Para “Total”, é o número total de observações menos um (N-1). Para o “Erro Experimental” é a soma dos graus de liberdade dentro de cada tratamento, que corresponde ao número de repetições dos tratamentos menos um, para cada um deles $[I*(J-1)]$. O Grau de Liberdade para o Erro Experimental também pode ser obtido pela diferença entre o GLTotal e o GLTratamentos. Teoricamente, graus de liberdade é um conceito ligado ao número de dados disponíveis (livres) para os cálculos estatísticos. Um exemplo simples seria o número de graus de liberdade existente numa amostra de n dados para o cálculo da estimativa da variância: uma vez que tenhamos o conhecimento da média, bastam n-1 dados para calcularmos a estimativa da variância, pois o n-ésimo dado pode ser obtido fazendo-se a diferença entre a média vezes n e a soma dos n-1 dados. Em outras palavras, a média substitui um dado, tornando necessários apenas n-1 dados para cálculos seguintes. Em outros contextos o número de graus de liberdade é calculado de outro modo, mas o

sentido é o mesmo: é o número de dados ainda necessários para completar a informação prestada pelos cálculos estatísticos que já foram feitos.

Soma de Quadrados (SQ): as definições das somas de quadrados são:
Soma de Quadrados Total – é a soma dos quadrados das diferenças entre cada observação e a média geral do experimento.

$$SQ_{TOTAL} = \sum_{ij} (X_{ij} - X)^2$$

Desenvolvendo o 2^o termo chega-se a:

$$SQ_{TOTAL} = \sum_{ij} X_{ij}^2 - \frac{\sum_{ij} (X_{ij} - X)^2}{N}$$

Soma de Quadrados Entre Tratamentos – corresponde à soma dos quadrados das diferenças entre as médias de cada tratamento e a média geral lembrando que cada média de tratamento foi obtida de J repetições.

$$SQ_{TRATAMENTOS} = J \sum_i (X_i - X)^2$$

A fórmula prática é:

$$SQ_{TRATAMENTOS} = \frac{1}{J} \sum_i T_i^2 - \frac{\sum_{ij} (X_{ij})^2}{N}$$

Onde T_i é o total de cada tratamento.

Soma de Quadrados do Erro Experimental – é o somatório das somas de quadrados dos desvios entre as repetições de cada tratamento e sua média, considerados todos os I tratamentos.

$$SQ_{ERRO} = \sum_j \sum_i (X_{ij} - x_i)^2$$

Na prática, calcula-se: SQ_{Erro} = SQ_{Total} – SQ_{Tratamentos}

Quadrados Médios (QM): cada Quadrado Médio é obtido dividindo-se a Soma de Quadrados pelo respectivo número de Graus de Liberdade.

Valor de F Calculado (F_c): corresponde à razão entre o $QM_{EntreTratamentos}$ e o $QMErro$.

$$SQ_{Total} = 2,0^2 + 2,2^2 + \dots + 2,7^2 - 26^2 / 10 = 1,32$$

$$SQ_{EntreLinguagemDeProgramacao} = 1/5 (12^2 + 14^2) - 26^2 / 10 = 0,40$$

$$SQ_{Erro} = 1,32 - 0,40 = 0,92$$

TABELA 18 Quadro de Análise de Variância – Exemplo

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Entre Tratamentos	1	0,40	0,40	3,48
Dentro de Tratamentos	8	0,92	0,12	
Total	9	1,32		

Teste de F

Hocking (1985) cita que a distribuição de probabilidades do estimador proporciona informações para se fazer inferências sobre o parâmetro desconhecido θ . Isso pode ser usado pelo pesquisador de duas diferentes maneiras para interpretar seus resultados: construção de regiões ou intervalos de confiança para funções lineares de θ ou, alternativamente, construir testes de hipóteses a respeito de funções de θ .

De acordo com Searle (1987), uma hipótese linear geral associada ao conjunto de parâmetros θ pode ser definida sob a forma $H : B' \theta = c$, em que B' é uma matriz conhecida (reflete as funções lineares de θ que se deseja testar) e c é um vetor conhecido, geralmente nulo, que reflete a diferença presente no contraste criado em B' .

Quando B' tem posto linha completo e os elementos da função paramétrica $B'\theta$ são estimáveis, a hipótese $H_0: B'\theta = c$ é dita hipótese testável. Isto posto, pode-se calcular, por exemplo, uma estatística F conveniente.

Para tanto, pode-se considerar a seguinte forma quadrática (Searle, 1971)

$$Q = (B'\theta^0 - c)' [B'(X'X)^G B]^{-1} (B'\theta^0 - c),$$

tal que

$$\frac{Q}{\sigma^2} \sim \chi^2_{[r[B]; \frac{(B'\theta^0 - c)[B'(X'X)^G B]^{-1}(B'\theta^0 - c)}{2\sigma^2}]},$$

em que

χ^2 : distribuição de qui-quadrado não central, com $r[B]$ graus de liberdade e parâmetro de não centralidade

$$\left(\frac{(B'\theta^0 - c)[B'(X'X)^G B]^{-1}(B'\theta^0 - c)}{2\sigma^2} \right)$$

Sabe-se que Q e $SQRes$ (soma de quadrados do resíduo) são independentemente distribuídas (Iemma, 1989). Então (Searle, 1971),

$$F(H_0) = \frac{\frac{Q}{r[B]}}{\frac{SQRes}{n - r[X]}} = \frac{Q}{r[B]\hat{\sigma}^2} \sim F'_{\{r[B], n-r[X], \frac{(B'\theta^0 - c)[B'(X'X)^G B]^{-1}(B'\theta^0 - c)}{2\sigma^2}\}},$$

em que

$F(H_0)$: estatística F para a hipótese H_0 ;

n : número de observações;

σ^2 : estimativa da variância populacional;

F' : distribuição de F não central, com $r[B]$ e $n-r[X]$ graus de liberdade e parâmetro de não centralidade

$$\left(\frac{(B'\theta^0 - c)[B'(X'X)^G B]^{-1}(B'\theta^0 - c)}{2\sigma^2} \right)$$

Assim, a estatística F para testar uma hipótese linear geral $H_0: B'\theta = c$, é (Iemma, 1989):

$$F(H_0) = \frac{Q}{r[B]\hat{\sigma}^2} = \frac{(B'\theta^0 - c)[B'(X'X)^G B]^{-1}(B'\theta^0 - c)}{r[B]\hat{\sigma}^2}$$

Geralmente, principalmente em análises de variância, tem-se que c é nulo. Então, com a hipótese na forma $H_0: B'\theta = 0$, a estatística F adequada para testá-la é:

$$F(H_0) = \frac{Q}{r[B]\hat{\sigma}^2} = \frac{(B'\theta^0)'[B'(X'X)^G B]^{-1}(B'\theta^0)}{r[B]\hat{\sigma}^2}$$

Ainda neste contexto, a esperança matemática do Quadrado Médio do Erro Experimental é σ^2 e para o Quadrado Médio de Tratamentos é $\sigma^2 + k \sum t_i^2$, onde k é uma constante e t_i representa o efeito do tratamento i . Isto significa que os Quadrados Médios são estimativas de variâncias.

Caso H_0 seja verdadeira, então o QMTratamentos e o QMErro serão estimativas do mesmo parâmetro, conforme mostra a Tabela 19 a seguir, e, portanto, a razão entre eles deverá ser próxima de 1.

TABELA 19 Quadro de Análise de Variância – Estimativas de Variância

Fontes de Variação	GL	QM	E(QM)
Entre Tratamentos	I - 1	V1	$\sigma^2 + (J/I-1) \sum t_i^2$,
Dentro de Tratamentos	I (J-1)	V2	σ^2
Total	I*J - 1		

Fonte: Stell and Torrie (1980)

Caso H_0 seja falsa, as reais diferenças entre os tratamentos aumentarão o valor de $SQ_{\text{Tratamentos}}$, mas não afetarão a SQ_{Erro} . Logo, a razão entre $QM_{\text{Tratamentos}}$ e QM_{Erro} será maior que 1.

A distribuição de probabilidade para a razão entre duas variâncias é conhecida como distribuição de F. A estatística $F_c = QM_{\text{Tratamentos}} / QM_{\text{Erro}}$ tem distribuição de F com $I-1$ e $I*(J-1)$ Graus de Liberdade.

Feitas estas considerações, o teste de F pode ser realizado. O primeiro passo é escolher o nível de significância (α). Geralmente admite-se $\alpha = 5\%$ ou menor. Esta é a probabilidade do Erro Tipo I, isto é, a probabilidade de rejeitar-se H_0 quando ela for verdadeira.

Escolhido o nível de significância, a regra de decisão para o teste de F é:

- Se o valor de F_c for maior que o valor de F tabelado, ao nível de $\alpha\%$ de probabilidade, rejeita-se H_0 . O teste é considerado significativo ao nível de $\alpha\%$ de probabilidade e admite-se que, ao nível de $\alpha\%$ de probabilidade, existe pelo menos uma diferença entre os efeitos dos tratamentos;
- Caso o valor de F_c seja menor ou igual ao valor de F ao nível de $\alpha\%$, não existem evidências para rejeitar-se H_0 . O teste é não-significativo ao nível de $\alpha\%$ e, ao nível de $\alpha\%$ de probabilidade, não existem diferenças entre os efeitos dos tratamentos.

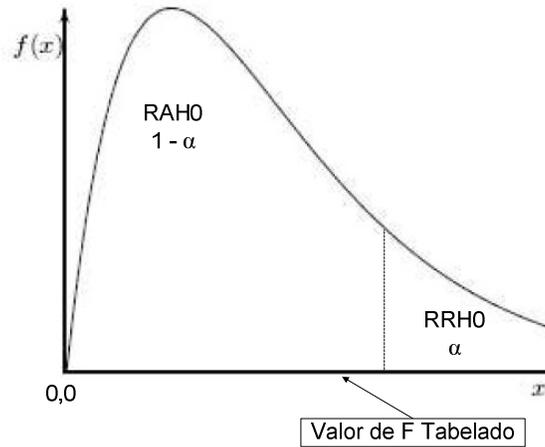


FIGURA 31 Regra de decisão para o teste de F ao nível de $\alpha\%$ de probabilidade
Fonte: Lima e Abreu (2004)

Para os dados da Tabela 8, segundo a regra de decisão, não existem evidências para rejeitar H_0 . Portanto, conclui-se que não existe diferença significativa entre os tempos médios das atividades de desenvolvimento de software nas duas linguagens de programação. A diferença observada entre as duas médias (2,4 para 2,8) é considerada como sendo igual a zero.

Para o conjunto W, o teste de F foi não significativo ao nível de 5% de probabilidade. A Figura 32 apresenta o resultado do teste.

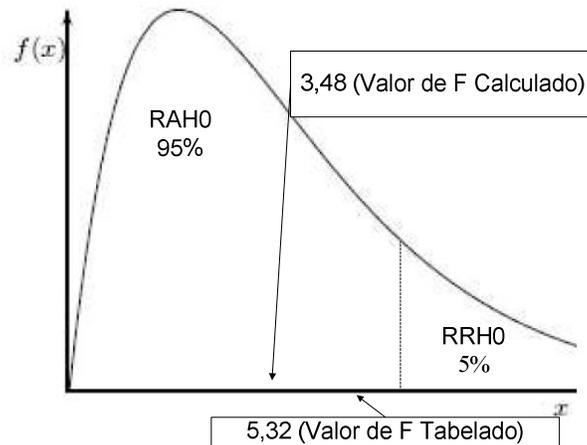


FIGURA 32 Teste de F ao nível de 5% de probabilidade para o conjunto W
Fonte: Lima & Abreu (2004)

Valor P ($F > F_c$)

Em Estatística, e especificamente no campo dos testes de hipóteses, o valor p, ou também p-valor, é a probabilidade de que a nossa amostra poderia ter sido tirada de uma população igual a que está sendo testada, isto é, assumindo que a hipótese nula seja verdadeira. Um valor de 0,05, por exemplo, indica que existe uma probabilidade de 5% de que a amostra que estamos a testar possa ser tirada de uma população que atende a hipótese nula considerada.

Interpretando o resultado temos:

- Valor p abaixo de um valor considerado - Um indicador de que a hipótese nula é falsa;
- Valor p maior do que este valor considerado- Não há evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula;
- Normalmente considera-se um valor p de 0,05 como o patamar para avaliar a hipótese nula. Se o valor p for inferior a 0,05 podemos rejeitar a hipótese nula. Em caso contrário, não temos evidência que nos permita

rejeitar a hipótese nula (o que não significa automaticamente que seja verdadeira). Em situações de maior exigência é usado um valor p inferior a 0,05.

2.4 Correspondência CMMI – Seis Sigma

A seguir apresenta-se a correspondência entre o Seis Sigma e o CMMI para as áreas de processo (PA's) relacionadas a medições (níveis 2 e 4 de maturidade), visando a implementação de medições em organizações. Essa correspondência foi estruturada relacionando práticas específicas das PA's citadas com correspondentes passos no Seis Sigma, podendo ser aplicada às duas representações do CMMI – contínua e por estágio.

Correspondência

Diretamente relacionadas às medições de qualidade de software têm-se três PA's do CMMI: Medição e Análise, Desempenho de Processo Organizacional e Gerência Quantitativa de Projeto. Essas PA's apresentam metas a serem obtidas alinhadas a práticas que devem ser executadas para alcançar essas metas. Entretanto, o CMMI não apresenta diretrizes de como implementá-las. Já o Seis Sigma apresenta um conjunto de ferramentas (técnicas) que operacionalizam suas fases (Stamatis, 2004).

Com o objetivo de apoiar a implementação de processos organizacionais de medição, foram relacionadas às práticas específicas das três PA's do CMMI, ligadas à medição, com os passos correspondentes no Seis Sigma (Donegan et al., 2005).

A correspondência será feita por PA e explanada utilizando tabelas, agrupando à esquerda as práticas específicas das metas de cada PA e à direita de cada uma delas será mostrada a correspondência da fase e seus passos

correspondentes do Seis Sigma. Para mais detalhes sobre a correspondência apresentada pela tabela deve-se consultar Donegan et al. (2005).

Medição e Análise

A Medição e Análise apresenta duas metas específicas:

- Alinhar Atividades de Medição e Análise: planejamento dos objetivos e das atividades de medição das necessidades de informação;
- Prover Resultados das Medições: fornecimento de resultados de medição para as necessidades de informação e os objetivos obtidos.

A Tabela 20 mostra a correspondência da PA de Medição e Análise com o Seis Sigma.

TABELA 20 Correspondência do Seis Sigma na PA de Medição e Análise

CMMI Metas / Práticas Específicas	Fase	Six Sigma
		Passo
Alinhar atividades de medição e análise		
Estabelecer objetivos de medição	Medição	Determinar medições e variações
Especificar medições	Medição	Determinar medições e variações Determinar tipos de dados
Especificar procedimentos para coleta e armazenamento de dados	Medição	Desenvolver plano de coleta de dados Executar a análise do sistema de medição
Especificar procedimentos de análise	Análise	Selecionar ferramentas de análise
Prover resultados das medições		
Coletar dados das medições	Medição	Conduzir medições
		Calcular nível sigma atual
		Determinar capacidade do processo
Analisar dados das medições	Medição	Conduzir Medições
Armazenar dados e resultados	-	-
Divulgar resultados	-	-

Fonte: Donegan et al. (2005)

(-) Não há um passo no Seis Sigma que seja correspondente a esta prática.
O Seis Sigma deixa este passo subentendido em outras atividades

Desempenho de Processo Organizacional

A área de processo Desempenho de Processo Organizacional tem apenas uma meta específica:

- Estabelecer Baselines e Modelos de Desempenho: apresenta o objetivo de estabelecer e manter *baselines* e modelos que caracterizem o desempenho esperado de um processo, de acordo com um conjunto de processos padrão da organização. A seguir são apresentadas suas práticas específicas.

A Tabela 21 exibe a correspondência do Seis Sigma com a PA de Desempenho de Processo Organizacional.

TABELA 21 Correspondência do Seis Sigma na PA de Desempenho de Processo Organizacional

CMMI	Six Sigma	
Metas / Práticas Específicas	Fase	Passo
Estabelecer <i>baselines</i> e modelos de desempenho		
Selecionar processos	-	-
Estabelecer medidas de desempenho de processo	Medição	Determinar medições e variações
		Determinar tipos de dados
		Desenvolver plano de coleta de dados
		Desempenhar análise do sistema de medição
	Controle	Estabelecer métricas
Estabelecer objetivos de desempenho de qualidade e de processo	Medição	Desempenhar análise do sistema de medição
	Análise	Determinar melhorias de maior impacto nos requisitos
	Melhoria	Obter aprovação de mudanças propostas
Estabelecer <i>baselines</i> de desempenho de processo	Medição	Conduzir medições
		Desempenhar análise do sistema de medição
	Controle	Estabelecer métricas
Estabelecer modelos de desempenho de processo	-	(*)

Fonte: Donegan et al. (2005)

(*) O Próprio Seis Sigma

Gerência Quantitativa de Projeto

A Gerência Quantitativa de Projeto é uma área de processo que apresenta duas metas específicas:

- Gerenciar Quantitativamente o Projeto: o projeto é quantitativamente gerenciado, usando objetivos de desempenho de qualidade e processo;
- Gerenciar Estatisticamente o Desempenho de Subprocesso: o desempenho de subprocessos selecionados do processo definido do projeto é gerenciado estatisticamente.

A Tabela 22 apresenta a correspondência da PA Gerência Quantitativa de Projeto com o Seis Sigma.

Esta prática é responsável por estabelecer e manter os objetivos de desempenho de qualidade e do processo. No passo 'Estabelecer Termo de Abertura do Projeto' da fase de Definição do Seis Sigma, os objetivos de um processo/projeto são determinados.

TABELA 22 Correspondência do Seis Sigma na PA de Gerência Quantitativa de Projeto

CMMI		Six Sigma	
Metas / Práticas Específicas	Fase	Passo	
Gerenciar quantitativamente o projeto			
Estabelecer objetivos do projeto	Definição	Estabelecer termo de abertura do projeto	
Elaborar o processo definido	-	-	
Selecionar os subprocessos a serem gerenciados estatisticamente	-	-	
Gerenciar desempenho do projeto	Medição	Calcular o nível sigma atual	
		Determinar capacidade do processo	
	Análise	Determinar causas da variação	
		<i>Brainstorm</i> de idéias para melhoria de processo	
		Desenvolver mapa de processo proposto	
Avaliar riscos associados com o processo revisado			
Gerenciar Estatisticamente desempenho de subprocesso			
Selecionar medições e técnicas analíticas	Medição	Determinar medições e variações	
		Desenvolver plano de coleta de dados	
		Desempenhar análise do sistema de medição	
	Análise	Selecionar ferramentas de análise	
Aplicar métodos estatísticos para entender variação	Medição	Conduzir medições	
	Análise	Determinar causas da variação	
Monitorar desempenho dos subprocessos selecionados	Medição	<i>Brainstorm</i> de idéias para melhoria do processo	
		Calcular o nível sigma atual	
	Análise	Determinar capacidade do processo	
Determinar causas da variação			
		<i>Brainstorm</i> de idéias para melhoria do processo	
Gravar dados de gerência estatística	-	-	

Fonte: Donegan et al. (2005)

(-) Não há um passo no Seis Sigma que seja correspondente a esta prática.

O Seis Sigma deixa este passo subentendido em outras atividades

Outras PA's do nível 5 também estão ligadas a medição, todavia, não são abordadas neste mapeamento. O nível 5 tem como atividade principal a ser realizada as análises experimentais visando otimização do processo. Isto será explorado na seção 4.1.2, Correspondência CMMI – Seis Sigma - PSM.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi uma forma simplificada de pesquisa-ação. Incluindo pesquisas bibliográficas relacionadas a Processo de Software, Processo de Medição de Software e Controle Estatístico de Processo.

Por meio dos conhecimentos adquiridos, definiu-se um Processo de Medição de Software, aplicando-o a um projeto denominado Via Digital detalhado no tópico 4, com a finalidade de testar sua aplicabilidade.

3.1 Pesquisa-Ação

Pesquisa-ação é um termo aplicado à pesquisa corrente com o duplo e explícito propósito de auxiliar a reflexão, formulação ou implementação da ação e de desenvolver, enriquecer ou testar quadros referenciais teóricos ou modelos relevantes ao fenômeno em estudo. Caracteriza-se por uma relação ativa e explícita entre os pesquisadores e os responsáveis pela ação numa área específica. Pesquisa-ação é a fusão entre pesquisa e assessoria (Oliveira, 1998).

O método da Pesquisa-ação tem por objetivo inicialmente o atendimento a duas necessidades:

- A construção ou testagem de um referencial teórico voltado à compreensão e entendimento de um aspecto da vida humana;
- A solução de um problema prático por meio de uma ação implementada simultaneamente à contemplação teórica.

Corroborando tal afirmação, Oliveira (1998) observa que a manipulação teórica pela Pesquisa-ação visa obter informações que seriam de difícil acesso por meio de outros procedimentos. Já o objetivo prático visa contribuir para um melhor equacionamento do problema considerado, com levantamento de soluções e proposta de ações correspondentes às soluções que os atores podem implementar nas suas atividades transformadoras sobre a realidade.

Neste caso em específico, o problema prático foi a utilização do processo de medição no projeto Via Digital, o que ocorreu simultaneamente às contemplações teóricas necessárias para formulação deste processo.

3.2 Cronologia

A cronologia da metodologia de desenvolvimento do processo de medição proposto, exposto mais detalhadamente no tópico a seguir, começou pela escolha do modelo CMMI como base para Processo de Desenvolvimento de Software, devido aos fatores mencionados anteriormente, concernentes à importância do modelo dentro do contexto mundial de produção de software. A observação dos níveis 4 e 5 do CMMI levantaram a necessidade de um controle estatístico do Processo de Desenvolvimento de Software.

Para tal, era preciso uma abordagem estatística conceituada e utilizada no mercado com sucesso e aceitação. Diante disso e das considerações anteriores, também já mencionadas, escolheu-se a metodologia Estatística do Seis Sigma.

O foco principal da dissertação surge como a definição de um Processo de Medição de Software. Para que este processo fosse definido, conceitos do CMMI e do Seis Sigma deveriam ser vinculados e relacionados entre si. A maneira encontrada de relacionar o CMMI ao Seis Sigma foi a correspondência entre CMMI - Seis Sigma apresentada no tópico anterior.

O Processo de Medição de Software definido precisava de um agente organizador das medições a serem realizadas, bem como uma ferramenta para armazenagem dos dados coletados. O modelo PSM e a ferramenta *PSM Insight* foram os escolhidos para tal função, principalmente por este modelo ser baseado nos conceitos do CMMI e desenvolvido pelo mesmo grupo idealizador do modelo CMMI.

Na finalidade de utilizar o *PSM Insight* de forma a maximizar a realização de análises estatísticas dos dados coletados, tornou-se necessário uma correspondência entre Seis Sigma - PSM, relacionando termos utilizados na ferramenta *PSM Insight* com conceitos estatísticos.

Com o Processo de Medição de Software definido, e disponibilizado em hipertexto, com a finalidade de facilitar sua utilização por parte das empresas, verificou-se a necessidade de um artefato que unisse as informações relevantes para tomada de decisão, resultando na melhoria da qualidade do Processo de Desenvolvimento de Software utilizado. Elaborou-se então a Planilha Geral – artefato detalhado no tópico 4.1.3 Processo de Medição de Software.

Uma vez tendo sido elaborado, o processo de medição de software foi testado por meio de uma simulação de dados. Esta simulação considerou o projeto Via Digital – detalhada posteriormente no tópico 4.2 Resultado de Análise de Dados - como base para a estruturação das medições realizadas.

Esta foi a seqüência das principais atividades realizadas na dissertação. Todas as atividades foram frutos das necessidades encontradas para obtenção do objetivo principal: a definição de um Processo de Medição de Software.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico apresenta detalhadamente todas as atividades realizadas para a elaboração do Processo de Medição de Software proposto, bem como o próprio processo de medição e seus artefatos ou documentos gerados pelo processo. As atividades detalhadas estão divididas em: Resultados Metodológicos e Resultados de Simulação. O primeiro fala sobre os resultados que contribuíram para a elaboração do processo de medição proposto. Já o segundo está voltado à utilização do processo, considerando dados simulados para a análise de aplicabilidade da metodologia desenvolvida.

4.1 Resultados Metodológicos

Neste tópico são abordadas as principais atividades necessárias para o desenvolvimento do Processo de Medição de Software.

4.1.1 Processo de Software e Processo de Medição

Assim como visto anteriormente, o processo de desenvolvimento de software corresponde a um conjunto de atividades realizadas com a finalidade de produção de um sistema de software dentro de uma empresa.

Este processo de desenvolvimento de software pode ser influenciado, e auxiliado, diretamente por um processo de medição de software.

A Figura 33 apresenta um processo de desenvolvimento de software baseado no modelo CMMI e que está sendo influenciado diretamente por um processo de medição de software proposto, que, é de baseado no modelo CMMI, na ISO 15939, no Modelo PSM (e a Ferramenta *PSM Insight*) e na metodologia Estatística do Seis Sigma.

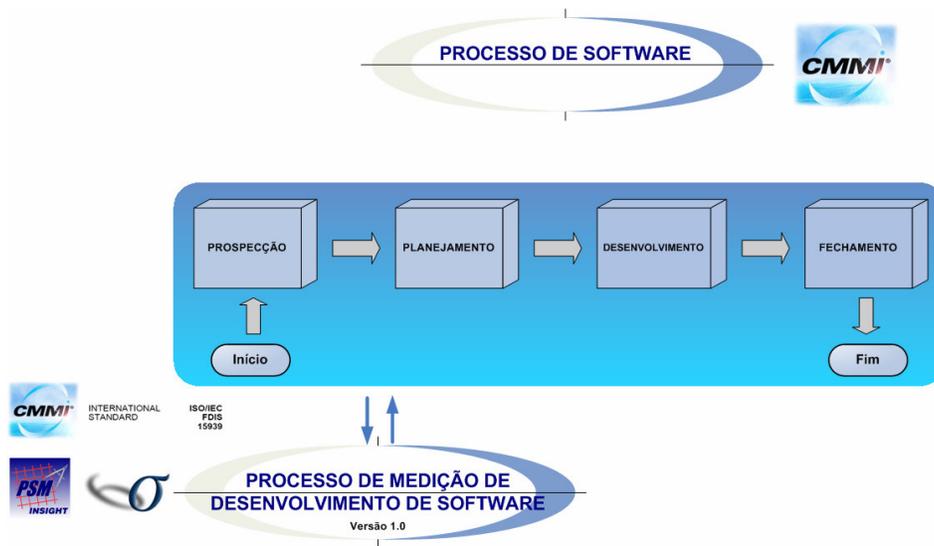


FIGURA 33 Processo de Software e Processo de Medição de Software

As setas mostradas pela Figura 33, que vinculam o processo de software com o processo de medição de desenvolvimento de software, representam que:

- Do Processo de Software para o Processo de Medição de Desenvolvimento de Software: a partir das atividades do Processo de Software são coletados dados de variáveis vinculadas a estas atividades. Estes dados serão estudados e analisados pelas atividades identificadas no Processo de Medição de Desenvolvimento de Software;
- Do Processo de Medição de Desenvolvimento de Software para o Processo de Software: a partir dos dados coletados, citados anteriormente, o processo de Medição de Desenvolvimento de Software influencia no Processo de Software, identificando possíveis melhorias a este último. Estas melhorias são identificadas estatisticamente, principalmente por meio de Delineamentos Experimentais.

Uma analogia interessante desenvolvida nesta dissertação, ainda com relação ao Processo de Software e o Processo de Medição de Desenvolvimento de Software e a Visão do Cliente, é a de uma engrenagem, como representado na Figura 34:

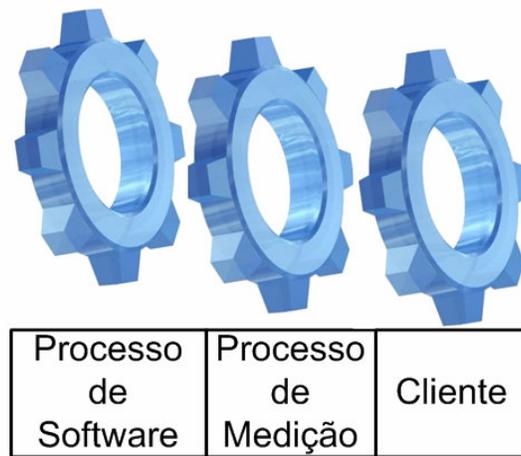


FIGURA 34 Analogia da Engrenagem

Nesta analogia tem-se que a primeira engrenagem representa o Processo de Software, a segunda o Processo de Medição e a terceira a Visão do Cliente.

Cada dente da engrenagem do Processo de Software representa as atividades deste processo, assim como também os dentes da engrenagem referente ao Processo de Medição representam as atividades do Processo de Medição. Já os dentes da terceira engrenagem, referente ao cliente, representam os problemas identificados, indicadores, gráficos ou informações relevantes aos quais os clientes têm acesso, relacionados ao produto desenvolvido.

O primeiro ponto a se notar é que, influenciando o Processo de Software, existe diretamente o Processo de Medição, e vice e versa.

O Processo de Medição pode fazer com que o Processo de Software rode mais rápido, através da identificação de propostas de melhoria ao Processo de Software. Todavia, estas propostas surgem de análises estatísticas de variáveis relacionadas a problemas identificados pelos clientes, representados pela terceira engrenagem. Dessa forma, os clientes influenciam o Processo de Medição a partir dos problemas identificados. Por outro lado, o Processo de Medição se liga diretamente à engrenagem Cliente por meio de indicadores ou gráficos que esboçam o resultado do Processo de Software seguido.

Indo mais a fundo nesta analogia, podemos considerar os níveis do CMMI e o possível formato das engrenagens para cada um destes níveis, assim como também a velocidade de rotação de cada uma das engrenagens em cada um dos níveis.

A Tabela 23, a seguir, representa as diferenças entre as engrenagens em cada um dos níveis do CMMI:

TABELA 23 Detalhamento da Analogia das Engrenagens

Nível	Engrenagem	Características
2 e 3	Processo de Software	Processo lento, falta de compromisso com prazos e instabilidade no sentido de que algumas atividades são realizadas rapidamente, enquanto outras muito lentamente. Excesso de atividades realizadas no Processo de Software. Processo inflexível, não propício a mudanças.
	Processo de Medição	Muitas variáveis a serem medidas, mas sem necessidade.

	Cliente	Dificuldade de se obter informações a partir dos indicadores e gráficos resultantes do Processo de Medição.
4	Processo de Software	Processo “rodando” mais rápido que os níveis anteriores, agora em “velocidade” constante, ou seja, característica de um processo controlado, estável. Processo inflexível, ainda não propício a mudanças.
	Processo de Medição	Uma quantidade menor de variáveis a serem medidas. Os dados são usados para compreender o processo.
	Cliente	Maior facilidade na obtenção de informações a partir das variáveis definidas.
5	Processo de Software	Processo “rodando” mais rápido que os níveis anteriores, e com “velocidade” crescente, representando a melhoria contínua. Processo flexível, propício a alterações.
	Processo de Medição	Uma quantidade menor de variáveis a serem medidas. Dados usados para avaliar e selecionar melhoria de processos.
	Cliente	Facilidade na obtenção de informações através das variáveis definidas, bem como identificação de significância estatística entre as variáveis e seus respectivos fatores associados.

Em suma, esta seção apresentou os principais aspectos (engrenagens) de um processo produtivo no contexto de desenvolvimento de software: Processo de Software, o Processo de Medição e o que o Cliente realmente “enxerga” de tudo isso. Apresentou também, as principais características das ligações entre estes aspectos, tendo em vista a diferenciação destas em cada nível do CMMI.

4.1.2 Correspondência CMMI - Seis Sigma - PSM

Esta seção apresenta algumas correspondências importantes dentro do contexto de construção do processo de medição de software.

4.1.2.1 Correspondência CMMI - Seis Sigma

Primeiramente apresenta-se a correspondência em alto nível entre CMMI e Seis Sigma.

Resumindo em alto nível a ligação entre os níveis do CMMI e a Medição temos a Figura 35. Nela podemos verificar a importância dos dados para cada um dos níveis, bem como as principais “Ferramentas Estatísticas” utilizadas nos níveis 4 (CEP – Controle Estatística de Processo) e 5 (DOE – Delineamentos Experimentais) do CMMI e sua correspondência à metodologia Estatística do Seis Sigma.

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Medição	Coleta de dados e análise são <i>ad hoc</i> .	Dados são usados no planejamento e na gerência de projetos individuais.	Dados são coletados e usados em todos os processos definidos.	Definição e coleta de dados são padronizados através da organização.	<div style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> <div style="background-color: blue; color: white; padding: 2px; display: inline-block;">DOE</div> Dados são usados para avaliar e selecionar melhoria de processos. </div>
			Dados são sistematicamente compartilhados entre projetos.	<div style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> <div style="background-color: blue; color: white; padding: 2px; display: inline-block;">CEP</div> Dados são usados para compreender o processo quantitativamente e estabilizá-lo. </div>	6 σ

FIGURA 35 Correspondência entre CMMI - Seis Sigma: Resumo

Embora o CMMI seja um modelo que indique as práticas a serem executadas para atingir o objetivo de cada PA, ele não fornece diretrizes de como realizá-las. Neste contexto, a correspondência realizada pode vir a auxiliar neste sentido, pois apresenta um conjunto de atividades relevantes para definição de uma estratégia organizacional, especificamente quanto a medições. O estudo desenvolvido rastreia as práticas específicas das PA's referentes a medições de qualidade de software do CMMI e os respectivos passos do Seis Sigma, com objetivo de fornecer um guia prático de sua implantação em organizações desenvolvedoras de software. Abordam-se as etapas que devem ser seguidas, que correspondem às práticas recomendadas pelo CMMI, tanto na representação por estágio quanto na contínua.

Não obstante, a correspondência apresentada na Figura 34 apóia fortemente organizações que desejam implantar medições de software, uma prática salutar no mercado, durante todo o processo, desde a fase de planejamento, passando pela execução e chegando ao monitoramento. A implantação de um sistema de coleta de medições permite uma melhor avaliação da produtividade e adaptabilidade ao processo de desenvolvimento, como também melhora a estimativa de tempo e custo.

4.1.2.2 Correspondência Seis Sigma - PSM

Esta seção aborda o contexto da correspondência entre Seis Sigma – PSM, por meio, primeiramente da Tabela 23 que liga atividades do Seis Sigma com o modelo PSM, e posteriormente com a tradução de termos do modelo PSM para conceitos Estatísticos.

TABELA 24 Correspondência entre PSM e Seis Sigma

Processos Centrais do PSM	
Processo: Planejar Mensuração	
Atividades do PSM	Atividades do Seis Sigma
Identificar e Priorizar Necessidades de Informação	Fase Definir: Definir Problema
Selecionar e Especificar Medidas	Fase Medir: Identificar Medições
Integrar Mensuração aos Processos do Projeto	Fase Medir: Desenvolver Plano de Coleta de Dados
Processo: Executar Mensuração	
Atividades do PSM	Atividades do Seis Sigma
Coletar e Processar Dados	Fase Medir: Conduzir Medições
Analisar Dados	Fase Analisar: Determinar Causas de Variação
Produzir Recomendações	Não tem correspondência direta com atividades do Seis Sigma (*)
Processos Não Centrais do PSM	
Processo: Avaliar Mensuração	
Atividades do PSM	Atividades do Seis Sigma
Avaliar Medidas	Não tem correspondência direta com atividades do Seis Sigma (*)
Avaliar o Processo de Mensuração	Fase Medir: Determinar Capacidade do Processo e Determinar Nível Sigma do Processo
Atualizar Base de Experiência	Implícita na própria definição de Medir do Seis Sigma.
Identificar e Implementar Melhorias	Fase Melhorar: Identificar Mudanças e Implementar Mudanças
Processo: Estabelecer e Sustentar Comprometimento	
Este processo inclui atividades comuns a qualquer projeto	

(*) *Essas atividades não tem correspondência direta com as atividades do Seis Sigma (considerando o modelo DMAIC). Todavia são explicadas nas definições dos processos.*

Por meio da Tabela 23, a correspondência entre Seis Sigma e PSM pode ser observada resumidamente.

Posteriormente conceitos do PSM precisaram ser relacionados a conceitos estatísticos, visando possibilitar uma melhor utilização da ferramenta PSM Insight. Este relacionamento.

Como visto anteriormente na Seção 2.3.1 sobre o PSM, a ferramenta PSM Insight tem sido um importante auxílio para as empresas de software que desejam realizar controle estatístico de processo (Nível 4 do CMMI) e melhoria contínua (Nível 5 do CMMI). Nesta ferramenta existe um conjunto de medições já identificadas e organizadas considerando fatores de boas práticas de desenvolvimento de software, adquiridos em experiências anteriores.

Todavia, para que uma empresa alcance estes níveis de qualidade não basta apenas uma boa organização dos dados no sentido de sua rastreabilidade, mas tem-se como fator mais importante a “organização estatística” dos dados, ou seja, um armazenamento inteligente, possibilitando a geração de futuros gráficos de controle e a construção de delineamentos experimentais, dentre outras análises estatísticas.

Os dados devem ser organizados pensando-se estatisticamente, e não apenas em facilidade de localização. Na primeira forma de organização estes deixam de ser dados e tornam-se informações valiosas para o controle e melhoria de um processo produtivo.

A idéia desta correspondência, então, é aproveitar o que o PSM Insight tem de melhor, ou seja, a organização da pré-identificação de medições baseadas em boas práticas, e mapear os conceitos teóricos desta ferramenta e modelo, para conceitos estatísticos, promovendo uma utilização em conjunto de ambas as abordagens: O Modelo PSM e a Estatística.

As etapas desta correspondência podem ser detalhadas da seguinte forma:

Foram observadas no PSM Insight várias medições que podem ser consideradas em um processo de medição de um projeto de software. Conforme dito anteriormente, vinculado a essas medições existem suas características. Como pode ser observado na Figura 36.



FIGURA 36 Características dos dados

A Figura 36 mostra que, para um determinado dado, existem características (“etiquetas”) vinculadas (“penduradas”) a ele, que no PSM são conhecidas como estruturas e atributos.

A partir de um estudo da representatividade estatística dessas características, elas foram mapeadas estatisticamente para o conceito de **fatores**, conforme representado pela Figura 37.

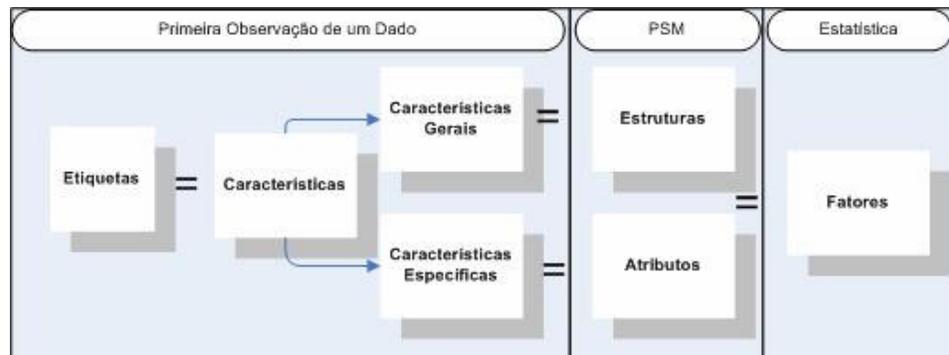


FIGURA 37 As Etiquetas de um dado e a visão do PSM e da Estatística

Uma observação importante a ser feita a partir dessa figura é a grande quantidade de “etiquetas” “penduradas” nos dados na Ferramenta *PSM Insight*. Como mostra a Figura 38.



FIGURA 38 Exemplo de uma medida no PSM e seus atributos e estruturas

Tendo em vista o conceito estatístico de fatores e níveis, já explicado na seção sobre Delineamentos Experimentais, temos a sua esquematização

conforme a Figura 39. Neste mesmo contexto, o conceito de tratamentos deve ser considerado, que são compostos seguindo a estrutura mostrada na Figura 40.

Fator 1	Fator 2	Fator 3
Nível A	Nível C	Nível E
Nível B	Nível D	Nível F

FIGURA 39 Fatores em um Delineamento Experimental

Tratamentos			
1	Nível A	Nível C	Nível E
2	Nível A	Nível C	Nível F
3	Nível A	Nível D	Nível E
4	Nível A	Nível D	Nível F
5	Nível B	Nível C	Nível E
6	Nível B	Nível C	Nível F
7	Nível B	Nível D	Nível E
8	Nível B	Nível D	Nível F

FIGURA 40 Tratamentos em um Delineamento Experimental

Para a melhoria de um processo de desenvolvimento de software, deve ser realizado um estudo deste, utilizando um conceito estatístico denominado **tratamentos**. Conforme visto no tópico sobre Delineamentos Experimentais, os diferentes tratamentos ligados a uma determinada variável (o que é chamado de medida no PSM) são comparados, e a partir dessas comparações, conclusões para a melhoria do processo são encontradas.

Diante de todas as considerações anteriores pode-se exemplificar um tratamento considerando a medida Número de Requisitos apresentada na Figura 37, existente na ferramenta *PSM Insight*, como apresentado na Figura 41.

Tratamento			
1	Imprimir Boletim	Planejado	Empresa X
	Alta	Componente Bancário	Primeira
	Empresarial		Requisito de Sistema
Valor da Variável [Total de Requisitos] = 55			

FIGURA 41 Exemplo de Tratamento

Observa-se, na Figura 40, uma grande quantidade de fatores que caracterizam este tratamento, tornando-o complexo, no que diz respeito à realização de um Delineamento Experimental. Esta dificuldade de interpretação é representada pela Figura 42.

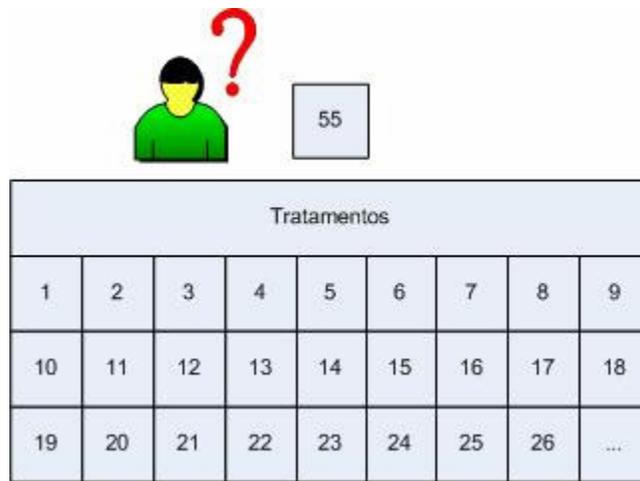


FIGURA 42 Dificuldade de Interpretação

Essas primeiras observações da utilização do PSM (principalmente com relação à dificuldade de interpretação do significado dos dados) como ferramenta de medição em um processo de software, seguindo a metodologia Estatística de um controle estatístico de processo, foi evidenciada a necessidade de uma correspondência entre conceitos do PSM e Estatísticos.

Após etapas de estudo quanto à verificação da representatividade dos conceitos do PSM para termos estatísticos chegou-se à conclusão esboçada na Tabela 24:

TABELA 25 Correspondência Geral entre PSM e Seis Sigma

PSM	Estatística
"Issue" – Problema	Experimento
"Category" – Categoria	
"Measure" - Medida	
"Attribute" – Atributos	Fatores
"Structures" – Estruturas	
Combinação entre Atributos e Estruturas	Tratamentos
"Data Itens" - Item de Dados	Variáveis Resposta

As “Issues” ou Problemas são traduzidos estatisticamente para Experimentos; as ”Category” ou Categorias também para Experimentos; assim como as “Measure” ou Medidas, as quais são os níveis mais baixos da organização do *PSM Insight* traduzidas para Experimentos; os “Attributes” ou Atributos para Fatores; as “Structures” ou Estruturas também para Fatores; a combinação entre Atributos e Estruturas para tratamentos, ou seja, a combinação dos níveis dos fatores; e, por fim, os “Data Itens” ou Itens de Dados para as Variáveis Resposta.

As Tabelas 25 e 26, a seguir, apresentam exemplos para a correspondência geral entre PSM e Seis Sigma mostrado no quadro anterior. Estes quadros levam em consideração as cores esboçadas no Quadro anterior. Branco para experimento, cinza claro para fatores, cinza escuro para tratamentos e cinza escuro e cor da letra branca para variáveis.

A Tabela 25 mostra um exemplo contendo dois experimentos diferentes, ambos contendo fatores e níveis diferentes, o que conseqüentemente leva a diferentes tratamentos. Para o experimento 1 foram definidas as variáveis X1 e X2. Para o experimento 2, as variáveis foram X3 e X4.

TABELA 26 Exemplo: Correspondência Geral entre PSM e Seis Sigma

Experimento	Fatores		Tratamentos	Variáveis	
	A	B		X1	X2
1	A1	B1	A1B1	58,36	3
1	A1	B2	A1B2	46,49	2
1	A2	B1	A2B1	117,84	1
1	A2	B2	A2B2	57,97	2
Experimento	Fatores		Tratamentos	Variáveis	
	C	D		X3	X4
2	C1	D1	C1D1	17	3
2	C1	D2	C1D2	20	5
2	C2	D1	C2D1	18	1
2	C2	D2	C2D2	30	3

A Tabela 26, a seguir, explica o significado das siglas utilizadas na Tabela 25, anterior.

TABELA 27 Legenda para Correspondência Geral entre PSM e Seis Sigma

Experimento	
1	Projeto 1 >> Problema 1 >> Categoria 1 >> Medida 1
2	Projeto 2 >> Problema 2 >> Categoria 2 >> Medida 2
Fatores	
A	Atividade
B	Organização
C	Componente
D	Prioridade dos Requisitos
Tratamentos	
A1B1	Atividade 1 e Organização 1
A1B2	Atividade 1 e Organização 2
A2B1	Atividade 2 e Organização 1
A2B2	Atividade 2 e Organização 2
C1D1	Componente 1 e Prioridade 1
C1D2	Componente 1 e Prioridade 2
C2D1	Componente 2 e Prioridade 1
C2D2	Componente 2 e Prioridade 2
Variáveis	
X1	Variável 1
X2	Variável 2
X3	Variável 3
X4	Variável 4

A partir da definição das medidas e seus atributos e estruturas relacionadas, temos a definição do que chamamos em estatística de Tratamentos de um Experimento, que em um Delineamento Experimental em Fatorial é dado por meio do “Cruzamento” dos Fatores.

No exemplo mostrado anteriormente podemos detalhar o experimento ‘Projeto 1 >> Problema 1 >> Categoria 1 >> Medida 1’, que na verdade trata-se

da medida 1, pertencente à categoria 1 para o projeto 1 – caso consideremos o contexto do PSM.

Ainda detalhando este exemplo, temos que: a observação 58,36 referente à variável X1, significa que foram gastos 58,36 minutos para a execução da atividade 1 pela organização 1 - tratamento A1B1.

Para que se tenha uma idéia do quanto seria difícil a interpretação dos dados considerando a organização baseada na rastreabilidade, pode-se citar que, em muitos casos, da forma como estão organizados os dados no *PSM Insight*, seria impossível realizar delineamentos experimentais. Isso porque as medições do *PSM Insight* estão ligadas a muitos atributos e estruturas, o que significa estatisticamente que, em muitos experimentos, existem fatores em excesso, inviabilizando a realização de delineamentos experimentais e, conseqüentemente, a interpretação dos dados.

Para que um experimento em fatorial possibilite uma boa interpretação, ele deve ter no máximo 3 fatores, o que não ocorre com a maioria das medições identificadas previamente na ferramenta *PSM Insight*.

A Figura 43, a seguir, mostra a seqüência de passos em que os termos de conceitos da ferramenta *PSM Insight* são utilizados estatisticamente.

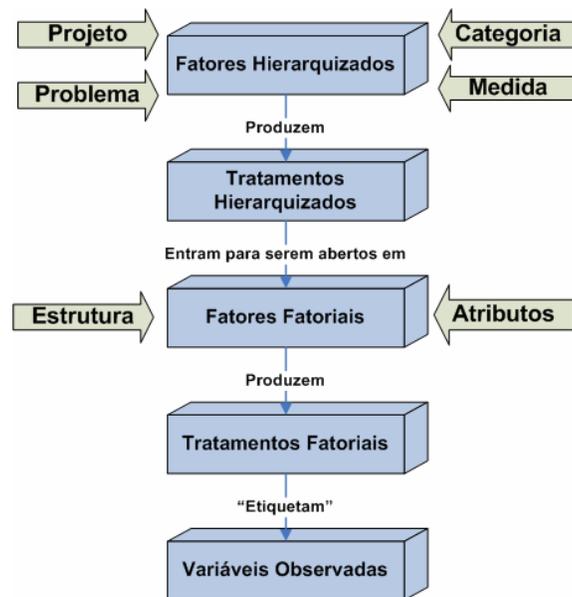


FIGURA 43 Metodologia de utilização dos termos do *PSM Insight* Estatisticamente

Interpretando a Figura 43 tem-se que:

- Fatores Hierarquizados: partir da definição do Projeto, Problemas, Categorias de Medidas e Medidas, pode-se dizer estatisticamente que os Fatores Hierarquizados são identificados;
- Tratamentos Hierarquizados: com as identificações realizadas anteriormente os Tratamentos Hierarquizados são delineados;
- Fatores Fatoriais: depois de definidos os Tratamentos Hierarquizados, o próximo passo é “abrir” cada um desses Tratamentos, que na verdade correspondem em seu mais baixo nível às Medidas do *PSM Insight*, em Fatores Fatoriais que os influenciam. As Estruturas e os Atributos são esses Fatores;

- **Tratamentos Fatoriais:** por meio do “cruzamento” entre os Fatores Fatoriais são identificados os Tratamentos Fatoriais;
- **Variáveis Observadas:** os itens de dados são as Variáveis estatisticamente falando; o que realmente é medido no *PSM Insight*; o que produz números para serem analisados. Essas Variáveis são identificadas, ou “etiquetadas”, por meio dos Tratamentos Fatoriais.

Considerando esta mesma visão exposta anteriormente, a Figura 44 mostra a visão aplicada a um exemplo prático.

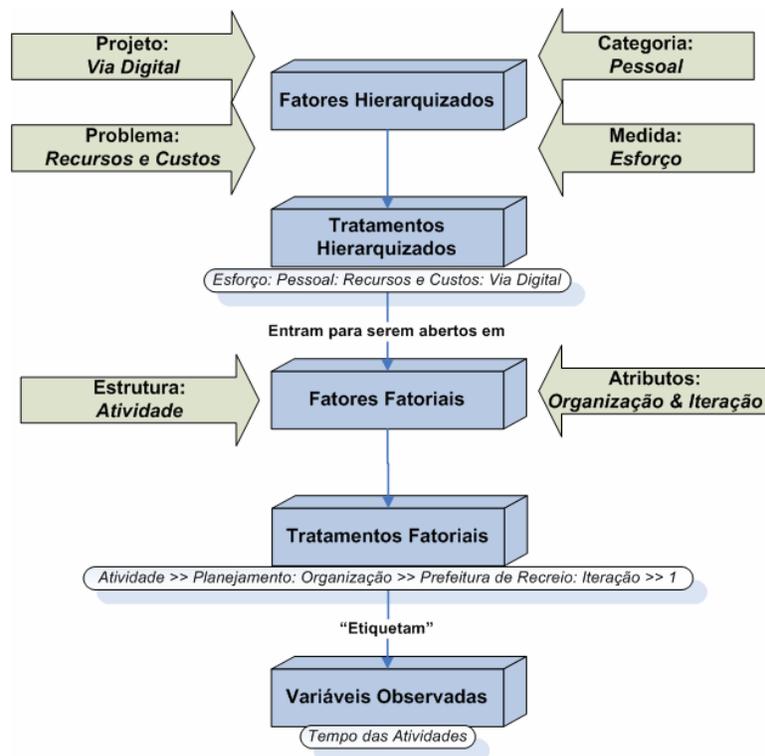


FIGURA 44 Exemplo da Metodologia de utilização dos termos do *PSM Insight* Estatisticamente

Na finalidade de facilitar o entendimento desta correspondência, apresenta-se um exemplo de correspondência, detalhadamente.

Exemplo de Correspondência

Neste exemplo é mostrada, com mais detalhes, a correspondência entre os termos do PSM para conceitos estatísticos.

No exemplo em questão, o Projeto tem por nome Via Digital. Alguns Problemas, Categorias e Medidas são identificados, correspondendo aos Fatores Hierarquizados, conforme Figura 45.

Fatores hierarquizados (FH) ...			
FH 1	FH 2	FH 3	FH 4
Projeto ("Project")	Problema ("Issue")	Categoria ("Category")	Medida ("Measure")
Projeto	Problema	Categoria	Tipo de Medida
Nível 1 do FH 1:	Nível 1 do FH 2:	Nível 1 do FH 3:	Nível 1 do FH 4:
Via Digital	Recursos e custos	Pessoal	Esforço
			Nível 2 do FH 4:
			Experiência
			•
			•
			•
		Nível 2 do FH 3:	
		Performance financeira	
		•	
		•	
		•	
	Nível 2 do FH 2:		
	Satisfação do cliente		
	•		
	•		
	•		
•			
•			
•			

Estes fatores são hierarquizados:

1. Os níveis para o FH 4 (Esforço, Experiência, etc) só existem para o nível 1 do FH 3 (Pessoal).
2. Por sua vez, os níveis do FH 3 (Pessoal, Performance financeira, etc) só existem para o nível 1 do FH 2 (Recursos e custos).
3. Por sua vez, os níveis do FH 2 (Recursos e custos, Satisfação do cliente, etc) só existem para o nível 1 do FH 1 (Via Digital).

FIGURA 45 Exemplo Detalhado da Correspondência: Fatores Hierarquizados

A partir da definição de Fatores Hierarquizados, são produzidos Tratamentos Hierarquizados, como, por exemplo, os mostrados na Figura 45, apresentada:

- Esforço: Pessoal: Recursos e Custos: Via Digital;
- Experiência: Pessoal: Recursos e Custos: Via Digital.

Estes Tratamentos Hierarquizados entram cada um para serem abertos em Fatores Fatoriais. Para isto, Estruturas e Atributos são definidos para as Medidas (Tratamentos Hierarquizados), anteriormente selecionadas. A partir destas Estruturas e Atributos definidos formam-se os Fatores Fatoriais, conforme Figura 46.

que entram cada um para serem abertos em fatores fatoriais			... que finalmente etiquetarão variáveis aleatórias observadas.		
Fatores fatoriais (FF) ...			Variáveis observadas		
FF 1	FF 2	FF 3	Item de dados		
Estrutura	Atributo	Atributo	X1	X2	X3
Fator	Fator	Fator			
Planejamento	Prefeitura Recreio (MG)	Iteração 1	55,4	1.519,84	3
		Iteração 2	32,8	1.988,60	0
		Iteração 3	44,6	2.038,90	2
		Iteração 4	•	•	•
		Iteração 5	•	•	•
		Iteração 6	•	•	•
	Prefeitura Canela (RS)	Iteração 1			
		Iteração 2			
		Iteração 3			
		Iteração 4			
		Iteração 5			
		Iteração 6			
	•				
Desenvolvimento	Prefeitura Recreio (MG)	Iteração 1			
		Iteração 2			
		Iteração 3			
		Iteração 4			
		Iteração 5			
		Iteração 6			
	Prefeitura Canela (RS)	Iteração 1			
		Iteração 2			
		Iteração 3			
		Iteração 4			
		Iteração 5			
		Iteração 6			
	•				

Estes fatores são fatoriais:

1. Os níveis de cada fator são comuns a todos os fatores.
2. Observação quanto ao PSM: ele permite que o fator Estrutura seja usado uma única vez, enquanto o fator Atributo pode ser usado várias vezes.

FIGURA 46 Exemplo Detalhado da Correspondência: Fatores Fatoriais

Neste nível de detalhamento podemos dizer que cada dado coletado dentro do processo produtivo da empresa tem uma “etiqueta”, colada não apenas com cuidados de rastreabilidade, mas considerando também preocupações estatísticas.

As características dessa etiqueta podem ser observadas através da Figura 47, que representa a “etiqueta” do valor observado 44,6 da variável X1, conforme Figura 46, mostrada anteriormente.

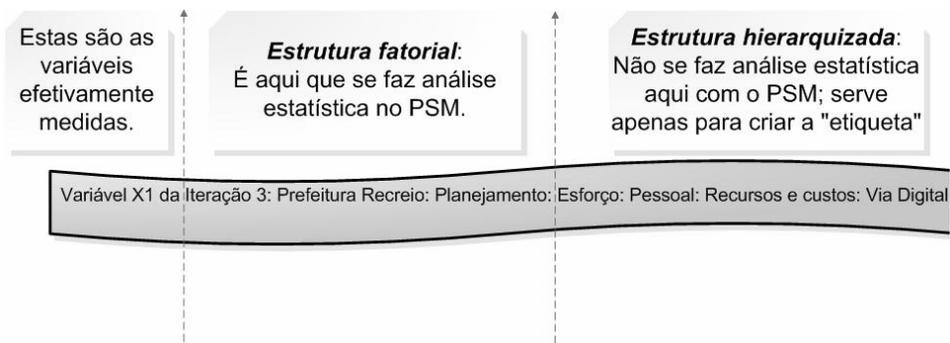


FIGURA 47 Característica da etiqueta dos dados coletados

Como mostrado na Figura 47, a etiqueta caracteriza o dado coletado. Esta etiqueta se divide em algumas partes:

- As Variáveis Medidas: o nome dos itens de dados do PSM, diretamente ligado aos dados coletados. Todos os indicadores, bem como os gráficos de controle serão gerados voltados especificamente para esta “parte” da etiqueta;
- Estrutura Fatorial: estruturas e Atributos do PSM. Nesta parte da etiqueta a estatística é aplicada. Os Delineamentos Experimentais para melhoria do processo consideram estes fatores (Iteração = 3, Organização = Prefeitura de Recreio e Atividade = Planejamento)

- Estrutura Hierarquizada: Projeto, Problemas, Categorias de Medida e Medida. Trata-se da parte mais alto nível da Etiqueta, não influenciando nos delineamentos, mas sim apenas com função de rastreabilidade dos dados.

A partir de uma melhor organização dos dados, considerando aspectos estatísticos como mostrados no exemplo, a obtenção de informações por meio dos dados se torna possível e facilitada.

4.1.3 Processo de Medição de Software

O Processo de Medição de Software definido é apresentado detalhadamente nesta seção. Todos os estudos referentes aos modelos CMMI, PSM e a abordagem Seis Sigma, bem como as correspondências realizadas, influenciaram na definição deste processo.

O principal objetivo deste processo é facilitar a obtenção dos níveis 4 e 5 do CMMI, por parte das empresas de software. Por meio dele, as atividades de medição são sistematizadas e definidas, considerando aspectos de modelos conceituados e amplamente utilizados (Seis Sigma e PSM).

A seqüência de utilização do processo é mostrada na Figura 48.

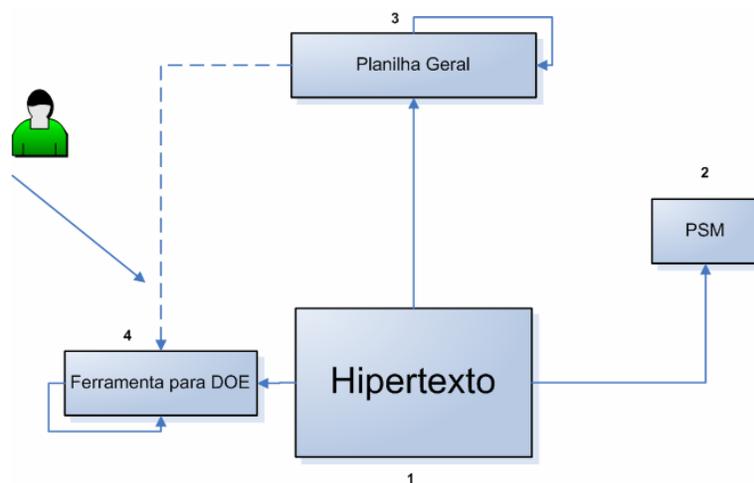


FIGURA 48 Seqüência de Utilização do Processo de Medição

- **Hipertexto:** no Hipertexto desenvolvido estão todas as atividades do processo, bem como os artefatos de entrada e saída para cada uma delas e a seqüência de suas execuções. Estas atividades estão todas baseadas nas fases do DMAIC do Seis Sigma, e na correspondência entre CMMI – Seis Sigma. Este Hipertexto será melhor explicado a seguir, na subseção ‘Hipertexto’. A partir deste Hipertexto o usuário visualizar as atividades do Processo de Medição e deverá executá-las com o auxílio da Ferramenta *PSM Insight*, da Planilha Geral e da Ferramenta para DOE.
- **PSM:** na Ferramenta *PSM Insight* serão definidas as medições a serem realizadas no processo de medição e armazenados todos os dados relacionados a estas medições.
- **Planilha Geral:** nesta Planilha são mapeadas as necessidades de informação e as medições definidas para estas necessidades. Os Indicadores, Gráficos de Controle e os Delineamentos Experimentais são definidos e seus resultados documentados.

- **Ferramenta para DOE**: esta ferramenta, que pode ser o software ‘R’ ou o ‘Sisvar’, serve para realizar os experimentos e obter os resultados.

O usuário deste processo deve utilizar a seqüência mostrada na Figura 48. Primeiramente o usuário do processo deverá seguir as atividades do Hipertexto. Dentre essas atividades, algumas estão ligadas à definição das medições e dos indicadores. Para tal, deve ser utilizada a Ferramenta *PSM Insight*.

Uma vez sendo definidas as medições e indicadores, o próximo passo é definir os gráficos de controle e delinear os experimentos, tudo isso feito na Planilha Geral. Nesta planilha são resumidos e documentados todos os resultados do Processo de Medição.

Por fim, depois de delineados, os experimentos são realizados efetivamente. A partir do resultado desses experimentos são identificadas propostas de melhoria para o processo de desenvolvimento de software da empresa.

Nas subseções posteriores sobre ‘Hipertexto’ e ‘Planilha Geral’, estes serão melhor detalhados, com a finalidade de facilitar o entendimento do usuário do Processo de Medição.

4.1.3.1 Hipertexto para descrição do processo de medição de software

Dentre muitas informações existentes no Hipertexto do Processo de Medição de Software, encontram-se as atividades deste processo, conforme apresentado na Figura 49.

A Figura 50 apresenta a legenda do Processo de Medição, facilitando o entendimento do significado de cada componente das atividades do Processo.

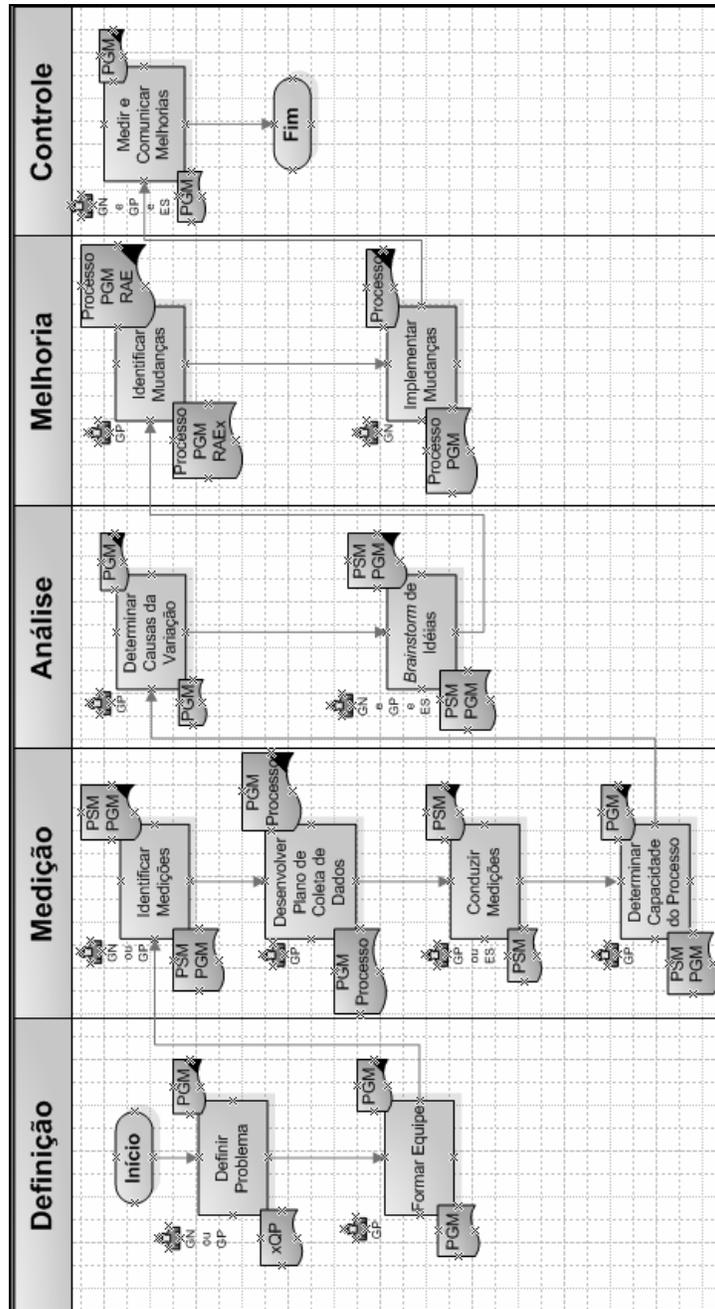


FIGURA 49 Processo de Medição de Software

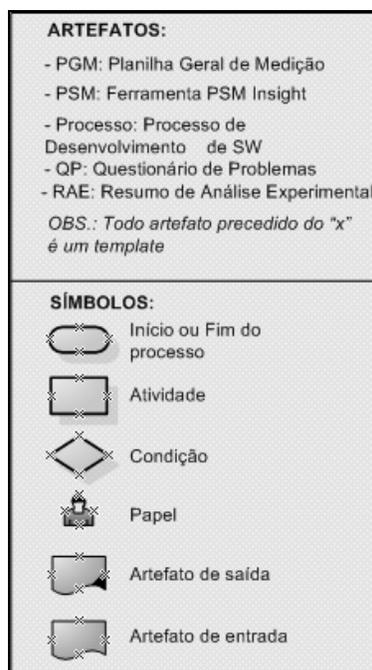


FIGURA 50 Legenda do Processo de Medição de Software

Na Tabela 27, a seguir, cada uma das atividades apresentadas na Figura 49 é descrita em mais detalhes.

TABELA 28 Descrição das Atividades do Processo de Medição

1.1 Atividade: Definir Problema	
Finalidade	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar por meio de questionários voltados ao cliente ou por <i>Benchmark</i> os principais problemas a serem resolvidos. 	
Artefatos de Entrada	Artefatos de Saída
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Template-Questionário de Problemas-xQP ➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba 'Mapeamento' 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Questionário de Problemas-QP ➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba 'Mapeamento'
Papel: Gerente de Negócios ou Gerente de Projeto	

Ferramentas: Software de Planilha Eletrônica e Software Editor de Texto	
Passos:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Fazer o atendimento ao cliente; 2. Preencher template do QP; 3. Gerar gráfico de Pareto para os principais problemas identificados; 4. Preencher PGM - Aba 'Mapeamento': identificando os "Problemas ou Necessidades de Informação"; 5. Armazenar o QP e o PGM preenchidos, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto); 6. Se o autor do QP for um Gerente de Projeto, o Gerente da Área de Negócio deve ser comunicado. 	
1.2 Atividade: Formar Equipe	
Finalidade	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar e mapear a equipe envolvida no projeto segundo a teoria da metodologia do Seis Sigma: Campeão, Faixas Pretas e Faixas Verdes. 	
Artefatos de Entrada	Artefatos de Saída
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba 'Início' 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba 'Início'
Papel: Gerente de Projeto	
Ferramentas: Software de Planilha Eletrônica	
Passos:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Preencher a PGM - Aba 'Início': identificando nome da empresa, nome do projeto, responsável pelo projeto (gerente de projeto), identificação da equipe, considerando as seguintes relações: <ol style="list-style-type: none"> a. Gerente da Área de Negócio = Master Black Belt b. Gerente de Projeto = Black Belt c. Engenheiro de Software = Green Belt 2. Armazenar a PGM preenchida, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto). 	
2.1 Atividade: Identificar Medições	
Finalidade	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar as principais medições (ou variáveis) relacionadas aos problemas identificados em atividade anterior. 	
Artefatos de Entrada	Artefatos de Saída
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba 'Mapeamento' ➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba 'Indicador' ➤ PSM Insight-PSM 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba 'Mapeamento' ➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba 'Indicador' ➤ PSM Insight-PSM
Papel: Gerente de Projeto ou Gerente da Área de Negócio	

Ferramentas: Software de Planilha Eletrônica e Software PSM Insight	
Passos:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Preencher a PGM - Aba ‘Mapeamento’: identificando <i>Issue</i> (Problema), <i>Category</i> (Categoria), <i>Measurement</i> (Medida) de acordo com as medidas pré-definidas no PSM Insight; 2. Preencher PSM: selecionar na ferramenta as medidas, estruturas, atributos, item de dados e indicadores considerados importantes para o processo de medição do software a ser desenvolvido; 3. Preencher a PGM - aba ‘Mapeamento’: identificando para cada uma das medidas selecionadas, as variáveis, atributos e estruturas a serem consideradas para medição. Isto deve ser armazenado em forma de “comentário” (recurso do software de planilha eletrônica); 4. Preencher a PGM - aba ‘Indicador’: identificando para cada uma das medidas selecionadas, os indicadores importantes para esboçar graficamente o conteúdo informativo dos dados; 5. Armazenar a PGM preenchida, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto); 6. Armazenar o projeto PSM preenchido, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto); 7. Se o autor do PGM e PSM nesta atividade for um Gerente de Projeto, o Gerente da Área de Negócio deve ser comunicado. 	
2.2 Atividade: Desenvolver Plano de Coleta de Dados	
Finalidade	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar no Processo de Desenvolvimento de Software da Empresa as atividades deste, aonde serão coletados os dados e a periodicidade dessa coleta, bem como, as ferramentas que auxiliarão nesta. 	
Artefatos de Entrada	Artefatos de Saída
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba ‘Mapeamento’ 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba ‘Mapeamento’
Papel: Gerente de Projeto	
Ferramentas: Software de Planilha Eletrônica	
Passos:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Preencher a PGM - Aba ‘Mapeamento’: identificando para cada uma das medidas selecionadas as ferramentas nas quais os dados serão coletados, bem como a periodicidade da coleta. Isto deve ser armazenado em forma de “comentário” (recurso do software de planilha eletrônica); 2. Identificar no Processo de Desenvolvimento de Software, utilizado pela empresa desenvolvedora do sistema, em quais atividades os dados referentes às variáveis anteriormente especificadas serão coletados – utilizando recurso de “comentário”; 	

3. Armazenar a PGM preenchida, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto).	
2.3 Atividade: Conduzir Medições	
Finalidade	
➤ Coletar os dados das medições (ou variáveis) nos pontos anteriormente pré-estabelecidos pela atividade anterior.	
Artefatos de Entrada	Artefatos de Saída
➤ PSM Insight-PSM	➤ PSM Insight-PSM
Papel: Gerente de Projeto ou Engenheiro de Software	
Ferramentas: Software PSM Insight	
Passos:	
1. Armazenar na ferramenta PSM Insight, os dados coletados. Estes dados serão obtidos de diversas fontes (ferramentas, documentos, etc, conforme especificado na atividade anterior) e deverão estar no final desta atividade, armazenados no PSM Insight;	
2. Armazenar o projeto PSM preenchido, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto).	
2.4 Atividade: Determinar Capacidade do Processo	
Finalidade	
➤ Construir gráficos de controle para cada uma das medidas ou variáveis identificadas e calculada a capacidade de processo para cada uma delas. Esta atividade tem por finalidade principal ajudar no controle do processo.	
Artefatos de Entrada	Artefatos de Saída
➤ PSM Insight-PSM	➤ PSM Insight-PSM
➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba 'Controle'	➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba 'Controle'
➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba 'Controle <Medida>'	➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba 'Controle <Medida>'
Papel: Gerente de Projeto ou Engenheiro de Software	
Ferramentas: Software PSM Insight e Software de Planilha Eletrônica	
Passos:	
1. Obter os dados para uma determinada variável, da ferramenta PSM Insight, em forma de tabela. Através do PSM Insight estes dados deverão ser exportados de forma que possam, posteriormente, ser copiados para a planilha geral;	
2. Preencher a PGM - Aba 'Controle' com informações que definem quais os gráficos de controle devem ser gerados;	
3. Preencher a PGM - Aba 'Controle <Medidas>' para cada um dos gráficos de controle definidos:	

<ul style="list-style-type: none"> a. Importar dados da medida referida por meio da ferramenta PSM Insight; b. Armazenados dados na Aba ‘Controle <Medida>’; c. Calcular LCI, LM, LCS, CPK, S; <p>4. Armazenar a PGM preenchida, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto).</p>	
3.1 Atividade: Determinar Causas de Variação	
Finalidade	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar no gráfico de controle as causas especiais relacionadas a cada uma das medidas (ou variáveis). Nesta atividade também são identificados os limites de especificação para as variáveis medidas. Periodicamente estes gráficos devem ser atualizados considerando as observações sobre periodicidade de análises realizadas para as medidas na atividade anterior. 	
Artefatos de Entrada	Artefatos de Saída
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba ‘Controle <Medida>’ 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba ‘Controle <Medida>’
Papel: Gerente de Projeto	
Ferramentas: Software de Planilha Eletrônica	
Passos:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Preencher a PGM - Aba ‘Controle <Medida>’ para cada um dos gráficos de controle definidos: <ul style="list-style-type: none"> a. Especificar LIE e LSE; 2. Armazenar a PGM preenchida, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto). 	
3.2 Atividade: <i>Brainstorm</i> de Idéias	
Finalidade	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Discutir em reunião sobre as causas especiais identificadas para cada uma das medidas (ou variáveis), com a finalidade de levantar os principais motivos causadores dessas observações fora dos limites de especificação. 	
Artefatos de Entrada	Artefatos de Saída
<ul style="list-style-type: none"> ➤ PSM Insight-PSM ➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba ‘Controle <Medida>’ 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba ‘Controle <Medida>’
Papel: Gerente da Área de Negócio, Gerente de Projeto e Engenheiro de Software	
Ferramentas: Software PSM Insight e Software de Planilha Eletrônica	
Passos:	

<ol style="list-style-type: none"> 1. Reunir a equipe para discussão sobre as causas especiais identificadas nos gráficos de controle por meio da atividade anterior; 2. Observar indicadores na Ferramenta PSM Insight para cada uma das medidas identificadas; 3. Preencher a PGM - Aba 'Controle <Medida>' para cada um dos gráficos de controle definidos: <ol style="list-style-type: none"> a. Identificar causas especiais, bem como, o motivo de suas ocorrências; b. Explicar detalhadamente cada uma das causas especiais identificadas por meio de "comentário" (recurso do software de planilha eletrônica); 4. Armazenar a PGM preenchida, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto). 	
4.1 Atividade: Identificar Mudanças	
Finalidade <ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar delineamentos experimentais para verificar a correlação entre os fatores relacionados às medições (ou variáveis) definidas. E de acordo com a correlação identificada, propor mudanças a serem realizadas no Processo de Desenvolvimento de Software. 	
Artefatos de Entrada <ul style="list-style-type: none"> ➤ Processo (Processo de Desenvolvimento de Software) ➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba 'DOE' ➤ Planilha Geral de Medição-xPGM: Aba 'DOE <Medida>' ➤ Resumo de Análise Experimental-xRAE 	Artefatos de Saída <ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba 'DOE' ➤ Planilha Geral de Medição-PGM: Aba 'DOE <Medida>' ➤ Resumo de Análise Experimental-RAE
Papel: Gerente de Projeto	
Ferramentas: Software para realização de Delineamentos Experimentais (R, Sisvar, etc) e Software de Planilha Eletrônica	
Passos: <ol style="list-style-type: none"> 1. Preencher a PGM - Aba 'DOE' com informações que definem os delineamentos experimentais a serem gerados; 2. Realizar delineamentos experimentais por meio de Software. <ol style="list-style-type: none"> a. Os dados a serem analisados devem ser importados da aba 'Controle <Medida>'; b. Devem ser especificados os fatores e níveis destes, influenciadores em cada uma das observações; c. Os dados devem ser analisados em forma de delineamentos 	

<p>experimentais;</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Preencher o RAE – Resumo de Análise de Experimento com informações relacionadas aos resultados obtidos pelas análises experimentais; 4. Preencher a PGM - Aba ‘DOE <Medida>’ para cada um dos delineamentos experimentais definidos: <ol style="list-style-type: none"> d. Identificar resumidamente as principais conclusões das análises; e. Classificar cada uma das conclusões como: boa, informativa ou ruim (conforme critérios estabelecidos da Planilha Geral); f. Descrever detalhadamente sobre as principais conclusões, por meio de “comentário” (recurso do software de planilha eletrônica); g. Identificar resumidamente as principais propostas para alteração do processo, considerando as conclusões anteriores; h. Classificar cada uma das propostas para alteração do processo como: implementada, em estudo ou descartada; i. Descrever detalhadamente, caso necessário, sobre as principais propostas para alteração, por meio de “comentário” (recurso do software de planilha eletrônica); 5. Armazenar a PGM preenchida, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto); 6. Armazenar o RAE preenchido, na seguinte estrutura de pastas (c:\projetos\ nome_projeto\ nome_medida). 	
4.2 Atividade: Implementar Mudanças	
Finalidade	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alterar o Processo de Desenvolvimento de Software segundo as melhorias identificadas na atividade anterior. 	
Artefatos de Entrada	Artefatos de Saída
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-PGM ➤ Processo (Processo de Desenvolvimento de Software) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Processo (Processo de Desenvolvimento de Software Alterado)
Papel: Gerente da Área de Negócio	
Ferramentas: Software de Planilha Eletrônica	
Passos:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Observar a PGM aba ‘DOE <Medida>’ com relação à melhoria do processo; 2. Alterar o Processo de Desenvolvimento de Software considerando as 	

propostas de alteração classificadas como implementadas.	
5.1 Atividade: Medir e Comunicar Melhorias	
Finalidade	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verificar - através dos dados coletados, pós-alterações no Processo de Desenvolvimento de Software - a nova capacidade do processo e compará-la com a capacidade pré-alterações no Processo de Desenvolvimento de Software. Estes índices de capacidade devem ser comunicados para efeito de comparação do Processo de Desenvolvimento antes e depois das alterações. 	
Artefatos de Entrada	Artefatos de Saída
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-PGM (Versão 1 - Pré-Alterações) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planilha Geral de Medição-PGM (Versão 2 - Pós-Alterações)
Papel: Gerente da Área de Negócio, Gerente de Projeto e Engenheiro de Software	
Ferramentas: Software de Planilha Eletrônica	
Passos:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Salvar nova versão da PGM; 2. Iniciar novamente o processo de medição, considerando as alterações implementadas ao processo de desenvolvimento de software; 3. Reunir-se com toda a equipe de desenvolvimento e responsáveis, para analisar alterações e divulgar os resultados de observações pós-alterações no processo de desenvolvimento de software. 	

Para que o Processo de Medição seja aplicado dentro da empresa com a finalidade de promover controle estatístico do Processo de Desenvolvimento de Software e sua melhoria contínua, todas as atividades descritas anteriormente devem ser realizadas.

4.1.3.2 Planilha Geral

O artefato mais importante do Processo de Medição de Software é a Planilha Geral. Neste documento encontram-se as principais informações com relação à conclusão das análises estatísticas realizadas.

Várias planilhas compõem a Planilha Geral (Planilha Eletrônica):

- **Início**: nesta planilha o projeto que passará pelo processo de medição é introduzido. Informações como: Nome da Empresa, Nome do Projeto, Responsável pelo Projeto, e definição da Equipe, devem ser descritas. O *template* desta planilha é apresentado na Figura 51.
- **Mapeamento**: os problemas identificados são descritos nesta planilha, bem como as medidas no PSM selecionadas como importantes, com a finalidade de ajudar na eliminação destes problemas. Todas as medidas selecionadas são mapeadas para cada um dos problemas identificados. A partir da tabela de análise desta planilha, consegue-se identificar o andamento da preparação para medição: que identificadores, gráficos de controle e delineamentos experimentais foram terminados, quais são desnecessários e quais ainda não foram terminados. Isso é feito para cada medida selecionada. Um exemplo desta planilha é apresentado na Figura 52.
- **Indicador**: os indicadores representam informações gráficas que têm origem nos dados coletados. Estes funcionam como auxiliares em tomadas de decisões e em facilidade de observação em termos de informações. A planilha ‘Indicador’ descreve todos os indicadores definidos no PSM, vinculando cada um deles a uma medida selecionada, conforme mostrado na Figura 53.
- **Controle**: a planilha ‘Controle’ determina quais gráficos de controle serão gerados para o projeto em específico. Resumidamente apresenta as principais informações concernentes a estes gráficos: LCI (Limite de Controle Inferior), LCS (Limite de Controle Superior), LEI (Limite de Especificação Inferior), LES (Limite de Especificação Superior), CPK (Índice de Capacidade do Processo), além de um Link para a planilha ‘Controle <Medida>’ que mostra com todos os detalhes as informações referentes ao gráfico de controle de uma determinada medida.

Observação: podem existir mais de um gráfico de controle para uma mesma medida selecionada. Para mais detalhes ver Figura 54.

- **DOE**: a planilha ‘DOE’ refere-se aos Delineamentos Experimentais realizados durante a execução do Processo de Medição de Software para um determinado projeto. Nela são resumidos todos os Delineamentos a serem realizados para cada uma das medidas anteriormente selecionadas. Para estas medidas identificam-se os itens de dados, atributos e estruturas relevantes. Estes termos do PSM identificados são mapeados para os termos Estatísticos em variáveis e fatores. O Delineamento apropriado é escolhido e especificado. E, por último, alguns Links são preenchidos: Link Dados - link para os dados coletados referentes a uma determinada medida; Link Análise Completa - link para uma análise de variância com relação a este experimento gerada pela ferramenta de DOE (Delineamento Experimental) escolhida; Link Análise Resumida - link para um artefato que resume a análise de variância realizada de uma forma mais concisa e de fácil entendimento, relatando as principais conclusões alcançadas com o experimento (ver Anexo A); Link Análise Final - link para a planilha ‘DOE <Medida>’. Para entender melhor a planilha ‘DOE’ deve-se verificar a Figura 55.
- **Controle <Medida>**: planilha que detalha o controle de uma determinada medida selecionada. Nesta planilha o gráfico de controle é gerado, as causas especiais são identificadas e os motivos de ocorrência para cada uma dessas causas são relatados. O índice de capacidade do processo é calculado com base nos limites do processo e de especificação. Observação: é gerada uma planilha de ‘Controle <Medida>’ para cada uma das medidas selecionadas no projeto em questão. Ver Figura 56 sobre esta planilha.

- **DOE <Medida>**: esta planilha está ligada à melhoria do processo. Nesta planilha são apresentadas informações sobre o Delineamento Experimental realizado para uma determinada medida selecionada. As principais conclusões com relação ao experimento realizado são documentadas, ou seja, realiza-se a “identificação” de causas comuns de variação do processo. Estas causas são classificadas como: Causa Boa (influencia na melhoria do Processo de Desenvolvimento de Software), Causa Informativa (não tem influência significativa o Processo de Desenvolvimento de Software) e Causa Ruim (influencia negativamente no Processo de Desenvolvimento de Software). Posteriormente, considerando as causas comuns identificadas, são relatadas propostas de alteração do Processo de Desenvolvimento de Software. Estas propostas são classificadas como: Alteração Implementada (alteração que já foi realizada no Processo de Desenvolvimento de Software), Alteração em Estudo (alteração ainda em estudo para verificação da aplicabilidade desta ao Processo de Desenvolvimento de Software) e Alteração Descartada (alteração considerada não aplicável ao Processo de Desenvolvimento de Software). Observação: é gerada uma planilha de ‘DOE <Medida>’ para cada uma das medidas selecionadas no projeto em questão. Ver Figura 57 sobre esta planilha.

Empresa			<i><Logo da Empresa></i>
Projeto			<i><Logo do Projeto></i>
Responsável:			<i><Nome do Responsável></i>
Equipe			
<i>Nome</i>	<i>Papel na Informática</i>	<i>Papel no Seis Sigma</i>	

FIGURA 51 Planilha Geral: Início

Problemas ou Necessidades de Informação	PSM			Análises		
	Issue	Category	Measurement	Indicador	Controle	DOE
<i><Digite aqui a categoria></i>						
<i><Digite aqui o problema></i>						

Legenda
Terminado
Desnecessário
Não Terminado

FIGURA 52 Planilha Geral: Mapeamento

INDICADORES	
Medida	<i><Digite aqui o nome da medida 1></i>
<i>Artigos de Dados Típicos por Atributos Típicos</i>	
Indicador 1:	<i><Digite aqui o nome do indicador></i>
<i>Atributos Típicos por Atributos Típicos</i>	
Indicador 2:	<i><Digite aqui o nome do indicador></i>
Medida	<i><Digite aqui o nome da medida 2></i>
<i>Artigos de Dados Típicos por Atributos Típicos</i>	
Indicador 1:	<i><Digite aqui o nome do indicador></i>
<i>Artigos de Dados Típicos por Estrutura Típica de Agregação</i>	
Indicador 2:	<i><Digite aqui o nome do indicador></i>

FIGURA 53 Planilha Geral: Indicadores

GRÁFICOS DE CONTROLE	
Medida	<Nome da Medida 1>
Item de Dado: <Nome do Item de Dado>	
LCI	
LCS	
LEI	
LES	
CPK	
Link	
Medida	<Nome da Medida 2>
Item de Dado: <Nome do Item de Dado>	
LCI	
LCS	
LEI	
LES	
CPK	
Link	

FIGURA 54 Planilha Geral: Gráficos de Controle

DOE - DELINEAMENTOS EXPERIMENTAIS		
Medida	<Nome da Medida 1>	
PSM		
Itens de Dados	Estrutura	Atributo
<Nome do Item de Dado 1>	<Nome da Estrutura 1>	<Nome do Atributo 1>
<Nome do Item de Dado 2>	<Nome da Estrutura 2>	<Nome do Atributo 2>
DOE		
Delineamento	<Tipo de Delineamento Experimental>	
Fatores	Variáveis	
<Nome do Fator 1>	<Nome da Variável 1>	
<Nome do Fator 2>	<Nome da Variável 2>	
Link Dados		
Link Análise Completa		
Link Análise Resumida		
Link Análise Final		
Medida	<Nome da Medida 2>	
PSM		
Itens de Dados	Estrutura	Atributo
<Nome do Item de Dado 1>	<Nome da Estrutura 1>	<Nome do Atributo 1>
<Nome do Item de Dado 2>	<Nome da Estrutura 2>	<Nome do Atributo 2>
DOE		
Delineamento	<Tipo de Delineamento Experimental>	
Fatores	Variáveis	
<Nome do Fator 1>	<Nome da Variável 1>	
<Nome do Fator 2>	<Nome da Variável 2>	
Link Dados		
Link Análise Completa		
Link Análise Resumida		
Link Análise Final		

FIGURA 55 Planilha Geral: Delineamentos Experimentais

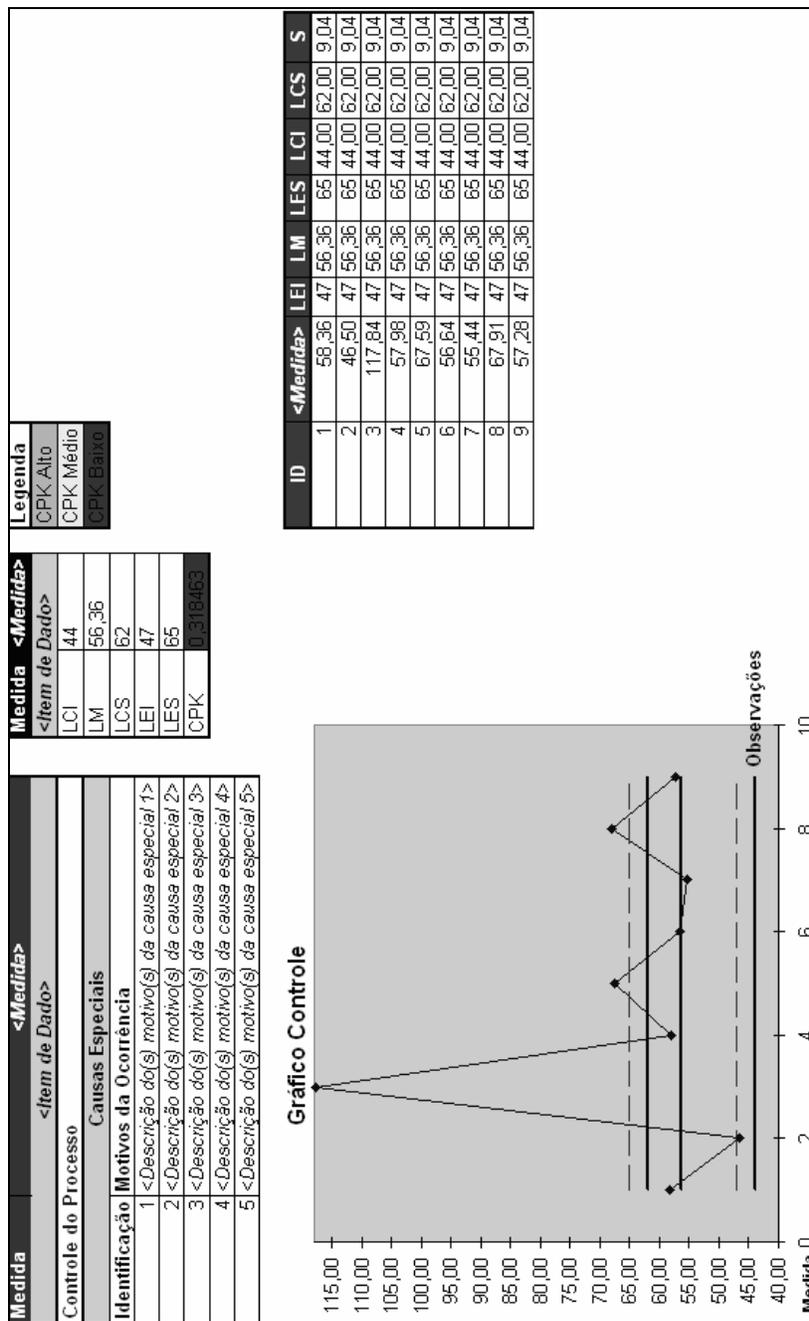


FIGURA 56 Planilha Geral: Controle <Medida>

Medida	<Medida>		Legenda Conclusões	Legenda Alteração
Melhoria do Processo			Causa Boa	Alteração Implementada
	Causas Comuns		Causa Informativa	Alteração em estudo
Identificação	Principais Conclusões das Análises		Causa Ruim	Alteração descartada
1	<Descrição das conclusões para Identificação 1>			
2	<Descrição das conclusões para Identificação 2>			
	Alteração do Processo			
Identificação	Propostas para Alteração do Processo			
1	<Descrição das alterações para Identificação 1>			
2	<Descrição das alterações para Identificação 2>			

FIGURA 57 Planilha Geral: DOE <Medida>

As figuras anteriormente mostradas nesta seção com a finalidade de facilitar o entendimento são referentes às planilhas que compõem a Planilha Geral, artefato mais importante do Processo de Medição de Software proposto.

No tópico 6 será apresentado um exemplo de utilização do Processo de Medição de Software. Neste exemplo, a Planilha Geral foi preenchida para uma medida selecionada, no caso, a medida 'Esforço'. Todas as planilhas explicadas e mostradas em figuras nesta seção terão sua forma de utilização exemplificada no tópico 6. Assim, para facilitar o entendimento de como estas planilhas são utilizadas na prática, basta consultar o tópico 6, seção 'Projeto Piloto: Exemplo'.

4.2 Resultados de Análise de Dados

Nas seções relacionadas a este tópico busca-se esclarecer toda a análise de dados referentes à simulação realizada para o Projeto Via Digital, o qual será introduzido posteriormente, considerando a variável esforço.

Trata-se de uma demonstração da utilização do Processo de Medição de Software considerando as necessidades reais do Projeto Via Digital, e dados provindos de simulação.

4.2.1 Projeto Piloto: Introdução

Para verificar a aplicabilidade do Processo de Medição de Software definido em um Processo de Desenvolvimento de Software foi escolhido um projeto piloto.

O projeto Via Digital é na verdade um conjunto de 5 projetos de desenvolvimento de software.

Várias foram as características que influenciaram sua escolha. Dentre elas podemos citar:

- Mesma Linguagem de Programação para cada um dos 5 projetos: Java;
- Complexidade semelhante entre os 5 projetos;

- Mesma Equipe de Análise para os 5 projetos.

Todas as características acima citadas reforçam a possibilidade de comparação entre os 5 projetos de software que correspondem ao Via Digital, uma vez que possuem características semelhantes entre si.

A seguir, apresentam-se mais informações (ou informações mais detalhadas) com relação ao projeto e seus principais objetivos. A Planilha Geral foi elaborada conforme artefato anteriormente detalhado neste tópico.

O Projeto Via Digital

“Via Digital - Caminho inteligente para informatização pública” é um projeto inovador que pretende estimular uma nova dinâmica em torno da oferta de soluções de software livre para prefeituras, envolvendo desenvolvimento tecnológico, geração de oportunidades de negócio, emprego e renda, capacitação e informação, reunindo informações, softwares, conhecimento e aproximando pessoas, empresas, universidades e prefeituras, para trabalhar na construção de soluções para o setor público e de oportunidades para os empreendedores.

Objetivos

Para viabilizar o projeto de forma sustentada, ele foi dividido em duas fases: projeto piloto e projeto de expansão. A proposta do projeto piloto é a criação de 5 casos pilotos para:

- Criar a infra-estrutura e construção inicial do acervo de soluções modelo e de informações de referência que ficarão alocadas no portal;
- Testar e ratificar o modelo proposto entre os atores - prefeituras, empresas e agentes indutores;
- Ouvir as prefeituras, conhecer o problema de cada uma e criar soluções de acordo com a sua realidade.

Para isso foram selecionadas cinco prefeituras e, no mínimo, cinco empresas desenvolvedoras de software. Adicionalmente, agentes regionais, como agentes SOTTEX ou outras instituições de interesse do projeto puderam agregar-se ao projeto. A seleção desses atores – prefeitura, empresas e a participação de instituições de apoio – objetiva a criação de um ambiente de interação apropriado à implementação do projeto, que é denominado ecossistema e que deve contar ainda com o incentivo do poder público à informatização e à adoção de software livre (SL).

Colaboradores



Prefeituras selecionadas

Canela (RS), Santa Clara (RS), Amparo (SP), Recreio (MG), Campina Grande (PB).

4.2.2 Projeto Piloto: Resultados

Após a fase de Análise de Requisitos para este projeto, ou seja, a verificação junto às prefeituras para levantar as necessidades que elas tinham com relação ao software que ia ser desenvolvido, o Processo de Medição começou a ser utilizado.

Seguindo o Processo de Medição as atividades realizadas foram as descritas a seguir:

4.2.2.1 Definir Problema

Para definição do problema foi realizada uma reunião com o Gerente de Projetos da empresa responsável por realizar a Gerência dos cinco projetos de desenvolvimento de software para cinco prefeituras.

Nesta reunião, realizada por meio da ferramenta Skype, procurou-se levantar junto ao Gerente quais eram as principais dificuldades no contexto de produção de software, de acordo com a sua experiência, uma vez que não havia uma base histórica de dados na finalidade de levantar os pontos críticos do desenvolvimento.

Os problemas neste caso foram identificados como principais necessidades de informação, com a finalidade de um bom desenvolvimento de software.

A Figura 58 apresenta as principais necessidades de informação identificadas:

Problemas ou Necessidades de Informação
Acompanhar performance do processo
Escopo
Cronograma
Custo
Conhecer qualidade do produto gerado

FIGURA 58 Definir Problema

Conforme visto na Figura 58, as principais necessidades de informação identificadas foram: “Acompanhar performance do processo” e “Conhecer

qualidade do produto gerado”. Para a primeira necessidade, ainda foram definidas algumas subdivisões a ela relacionadas: Escopo, Cronograma e Custo.

4.2.2.2 Formar Equipe

A equipe passou a ser definida considerando os principais envolvidos com o Processo de Medição, a ser realizado no Projeto Via Digital (Figura 59).

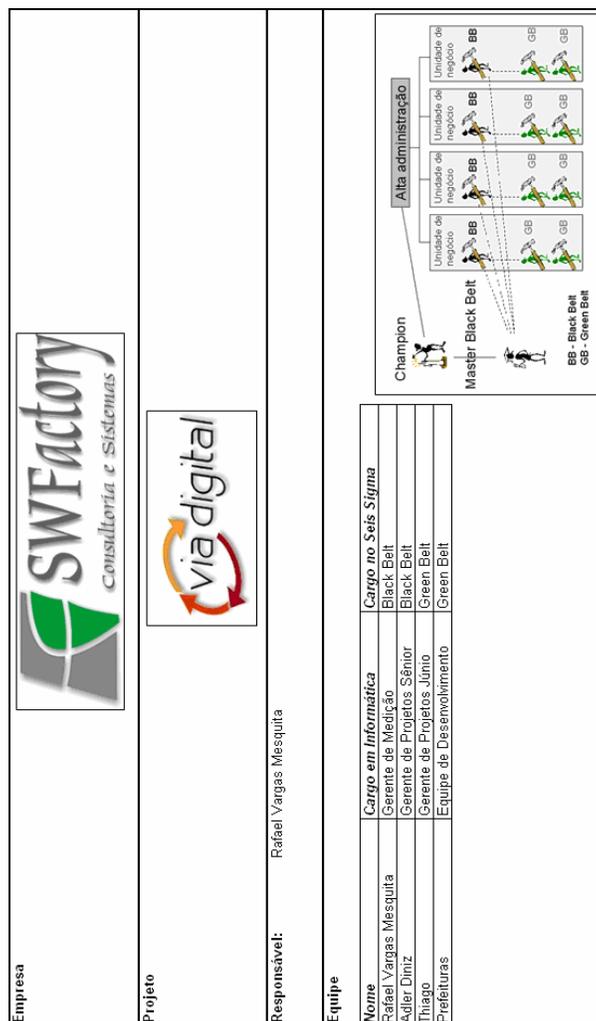


FIGURA 59 Formar Equipe

4.2.2.3 Identificar Medições

Uma das fases mais importantes do Processo de Medição, visto que nela se definem as medidas a serem coletadas com a finalidade de ajudar na eliminação dos problemas identificados.

Como visto anteriormente, apenas as medidas necessárias devem ser identificadas, uma vez que o excesso de medidas pode levar a não obtenção de informações significativas diante de tantos dados.

Para a identificação das medidas a serem coletadas foi realizado um mapeamento das necessidades de informações versus os termos do PSM Insight, a ferramenta utilizada para organização e armazenamento dos dados. Este mapeamento pode ser melhor observado na Figura 60.

Para a escolha dessas medidas na ferramenta *PSM Insight*, foi necessário um estudo do significado de cada uma das medidas existentes no *PSM Insight*.

Problemas ou Necessidades de	PSM			Análises		
	Issue	Category	Measurement	Indicador	Controle	DOE
Acompanhar performance do processo						
Escopo	Product Size and Stability	Funcional Size and Stability	Requirements			
Cronograma	Recurses and Cost	Financial Performance	Cost			
	Recurses and Cost	Personel	Effort			
	Schedule and Progress	Milestone Performance	Milestone Dates			
	Schedule and Progress	Work Unit Progress	Requirements Status			
	Schedule and Progress	Work Unit Progress	Component Status			
Custo	Schedule and Progress	Work Unit Progress	Test Status			
	Recurses and Cost	Financial Performance	Cost			
	Recurses and Cost	Financial Performance	Earned Value			
Conhecer qualidade do produto gerado						
	Product Quality	Funcional Correctness	Defects			
	Customer Satisfaction	Customer Feedback	Survey Results			
Legenda						
Terminado						
Desnecessário						
Não Terminado						

FIGURA 60 Definir Medições

Como mostra a Figura 60, para cada necessidade de informação foram definidas várias medidas relacionadas (*Measurement*).

A legenda indica o status de definição de indicadores, gráficos de controle e delineamentos experimentais para cada uma das medidas selecionadas.

4.2.2.4 Conduzir Medições

Esta atividade corresponde à coleta efetiva dos dados relacionados às medições identificadas na atividade anterior.

Para cada uma das medidas selecionadas foram identificados os indicadores (gráficos) para facilitar nas tomadas de decisão e na interpretação dos dados coletados.

A Figura 62 representa melhor esta identificação de indicadores.

Como o desenvolvimento dos cinco projetos de softwares, correspondentes ao projeto Via Digital, não seria iniciado em tempo hábil para utilização do Processo de Medição completamente, em todas suas atividades, antes da data definida para o término desta dissertação, optou-se por realizar algumas simulações com relação a pelo menos uma das medidas identificadas. Para tal, foi escolhida a medida Esforço (Effort).

Dessa forma, todas as atividades do Processo de Medição puderam ser realizadas.

A partir desta fase todas as demais fases mostradas neste tópico exemplo estarão se referindo à medida Esforço. Relacionado a esta medida, tem-se:

- Atributos:
 - Atividade: Desenvolvimento, Planejamento e Teste;
- Estruturas:
 - Iteração: 1, 2 e 3;
 - Organização: PM Santa Clara (RS), PM Canela (RS), PM Teresina (PB), PM Recreio (MG) e PM Amparo (SP);

- Artigos de Dados (Variáveis de Medição): Tempo das Atividades * Número de Pessoas Envolvidas na Atividade.

Resumindo, esta medida: refere-se à medida do tempo gasto em atividades * o número de pessoas nela envolvidas (Desenvolvimento, Planejamento e Teste) em todas as Iterações do Processo de Desenvolvimento de Software (1, 2 e 3), ou repetições, considerando todas as prefeituras envolvidas (Santa Clara, Canela, Teresina, Recreio e Amparo).

Os dados simulados para esta medida podem ser observados no anexo C. Com relação aos dados simulados, devemos considerar:

- **O Modelo Matemático:** este modelo representa como foram originados os dados simulados para a variável “Tempo da Atividade * Número de Pessoas”, e pode ser representado pelo modelo matemático $Y = X + EI + EA + EO + EA*EO + \varepsilon$, onde:

- Y: Valor da Observação para a variável “Tempo da Atividade * Número de Pessoas”
- X: Média das Observações para a variável “Tempo da Atividade * Número de Pessoas”
- EI: Efeito do Fator Iteração (Neste caso considerado como efeito de Bloco)
- EA: Efeito do Fator Atividade
- EO: Efeito do Fator Organização
- EA * EO: Efeito da Interação entre os Fatores Atividade e Organização
- ε : Resíduos

- **Efeitos dos Tratamentos:** o significado do efeito dos tratamentos está relacionado à influência que cada um dos tratamentos tem para com a média das observações de uma determinada variável. Pela Figura 61,

podem ser observados os efeitos para cada um dos níveis dos Fatores Iteração, Atividade e Organização. Os efeitos dos tratamentos são as combinações de cada um dos efeitos de níveis que compõem o tratamento.

Blocos (Iteração)	EB
1	3
2	1
3	-1
Atividade	EA
Desenvolvimento	5
Planejamento	2
Teste	-2
Organização	EO
PM Santa Clara	0
PM Canela	-2
PM Teresina	5
PM Recreio	-1
PM Amparo	5

FIGURA 61 Definir Efeitos de Tratamentos

Ex.: O tratamento *Iteração 1 + Atividade Desenvolvimento + Organização PM Santa Clara* é composto pelos seguintes efeitos: 3, 5 e 0, respectivamente. E cada um desses efeitos influenciará no resultado final da observação da variável “Tempo da Atividade * Número de Pessoas”. Considerando o efeito de “Iteração 1” que é igual a 3, temos que este influenciará em um adicional de três horas ao tempo médio das observações para a variável “Tempo da Atividade * Número de Pessoas”. Ou seja, caso a média para esta variável seja 50 horas, o efeito de “Iteração 1” resultaria em um tempo de 53 horas para a observação desta variável;

- **Resíduos (ε)**: como último influenciador da observação da variável “Tempo da Atividade * Número de Pessoas” representado no modelo,

temos os Resíduos. Estes são representados por uma distribuição normal de média zero e desvio padrão igual a (0,75) e obtidos aleatoriamente, conforme mostrado no Anexo C. Estes valores representam a influência das variáveis não controláveis (correspondente à variabilidade existente Dentro dos Tratamentos), citado no tópico sobre Delineamentos Experimentais.

A seguir podem ser observados, na Figura 62, os indicadores:

INDICADORES	
Medida	Esforço
<i>Artigos de Dados Típicos por Atributos Típicos</i>	
Indicador 1:	Número das horas de trabalho por organização e por atividade.
<i>Artigos de Dados Típicos por Estrutura Típica de Agregação</i>	
Indicador 2:	Número das horas de trabalho em cada organização.
<i>Artigos de Dados Típicos do Planejado/Atual por Atributo Típico</i>	
Indicador 3:	Número das horas de trabalho do Planejado/Atual por organização.
Medida	Requisitos
<i>Artigos de Dados Típicos por Atributos Típicos</i>	
Indicador 1:	Número de Requisitos por Componentes do Sistema
<i>Atributos Típicos por Atributos Típicos</i>	
Indicador 2:	Número de requisitos por componentes do sistema por prioridade
Medida	Custo
<i>Artigos de Dados Típicos por Atributos Típicos</i>	
Indicador 1:	Número das horas de trabalho em cada organização.
<i>Artigos de Dados Típicos por Estrutura Típica de Agregação</i>	
Indicador 2:	Número das horas de trabalho por organização e por atividade.
Medida	Datas e Marcos
<i>Múltiplos Artigos de Dados Típicos por Atributos Típicos</i>	
Indicador 1:	Número total de requisitos (Funcionais e Não-Funcionais) e Número de requisitos testados com sucesso por Organização
Medida	Status do Componente
<i>Artigos de Dados Típicos por Estrutura Típica de Agregação</i>	
Indicador 1:	Número total dos componentes por componente e Numero total dos componentes terminados com sucesso por componente (Item de configuração)
Medida	Status de Teste
<i>Artigos de Dados Típicos por Estrutura Típica de Agregação</i>	
Indicador 1:	Número total de casos do teste e Número dos casos do teste testados por componente
Medida	Valor Agregado
<i>Estrutura Típica de Agregação por Atributo Típico</i>	
Indicador 1:	Custo incluído no orçamento do trabalho programado por Atividade e por Organização
<i>Artigos de Dados Típicos por Estrutura Típica de Agregação</i>	
Indicador 2:	Custo incluído no orçamento do trabalho executado por Atividade e por Organização

FIGURA 62 Conduzir Medições: Definir Indicadores

Vários podem ser os tipos de indicadores: Artigos de Dados (variável) por Atributos (fatores), Artigos de Dados por Estrutura (fator), etc. Significando que os gráficos gerados irão mostrar dados relacionados ao Artigo de Dados vinculando-o a um Atributo ou Estrutura, respectivamente.

Na ferramenta *PSM Insight* foram definidos todos os indicadores da Figura 62. Para cada um desses indicadores pode-se gerar gráficos na ferramenta.

4.2.2.5 Determinar a Capacidade

Para que seja determinada a capacidade do Processo, deve-se primeiramente deixar claro o que significa o ‘Processo’ neste caso. Cada medida é encarada como um Processo Seis Sigma, e a capacidade aqui mencionada se refere a cada uma das medidas selecionadas.

A Figura 63 mostra a determinação da capacidade para o Processo Esforço. Assim como para esta medida, devem ser determinadas as capacidades para todas as outras medidas selecionadas.

Medida		Esforço
<i>Item de Dado: Número de Horas de Trabalho por Atividade</i>		
Média		53,97
LCI		21,03
LCS		86,90
LEI		19
LES		92
CPK		1,00
Link		Controle Esforço

FIGURA 63 Determinar Capacidade do Processo: Medida Esforço

De acordo com a Figura 63, a medida analisada foi o ‘Esforço’, mais especificamente o item de dado (ou variável, Estatisticamente falando) Número

de horas de trabalho (Tempo das Atividades * Número de Pessoas) por atividade.

Esta variável corresponde em estatística ao que se denomina Variável Aleatória. Uma Variável Aleatória pode ser considerada como o resultado numérico de operar um mecanismo não determinístico ou de fazer uma experiência não determinística para gerar resultados aleatórios.

Considerando os dados simulados, a média foi 53,97 horas para o tempo das atividades. LCI (Limite de Controle Inferior) igual a 21,03; LCS (Limite de Controle Superior) igual a 86,90; LEI (Limite de Especificação Inferior) igual a 19; LES (Limite de Especificação Superior) igual a 92.

Os cálculos estão mostrados a seguir:

➤ Média:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = 53,97$$

➤ AM - Amplitude Móvel:

$$AM_i = |x_i - x_{i-1}|; i = 2, \dots, m,$$

$$\overline{AM} = \sum_{i=2}^m \frac{AM_i}{(m-1)} = 12,38$$

➤ LCI – Limite de Controle Inferior:

$$LCI = \bar{X} - 3 \frac{\overline{AM}}{d2} = 53,97 - 3 \frac{12,38}{1,128} = 21,03$$

➤ LCS – Limite de Controle Superior:

$$LCS = \bar{X} + 3 \frac{\overline{AM}}{d2} = 53,97 + 3 \frac{12,38}{1,128} = 86,90$$

➤ LEI – Limite de Especificação Inferior: não é calculado. Obtido por especificação.

- LES – Limite de Especificação Superior: não é calculado. Obtido por especificação.
- CPK – Índice de Capacidade do Processo:

$$\begin{aligned}
 CPK &= \text{Mínimo}\left\{\frac{(\bar{X} - LEI)}{3s}; \frac{(LES - \bar{X})}{3s}\right\} \\
 &= \text{Mínimo}\left\{\frac{(53,97 - 19)}{3 * 11,66}; \frac{(65 - 56,36)}{3 * 11,66}\right\} \\
 &= \text{Mínimo}\{1,00; 1,08\} \\
 &= 1,00
 \end{aligned}$$

A primeira consideração a ser feita com relação às fórmulas está para o fator d2, igual a (1,128) neste caso, para n = 2, conforme pode ser observado pela tabela do Anexo D. Para mais detalhes sobre gráficos de controle, consultar Nomelini (2007).

Neste exemplo, para a medida esforço, o índice de capacidade do processo (CPK) está abaixo do esperado pelos limites de especificação desejados (igual a 1). Isto significa que o processo é capaz, ou seja, as observações coletadas dos dados estão dentro das especificações apresentadas. Concluindo-se, desta forma, que o controle do processo é obtido elevando-se o CPK e, conseqüentemente, a estabilidade do processo (Esforço) é alcançada.

O Gráfico de Controle para este exemplo foi o **Gráfico de Controle para Medidas Individuais**. Este é o tipo de gráfico comumente utilizado para medidas em processo de desenvolvimento de software, uma vez que as observações neste tipo de processo não são caracterizadas por repetição. Isso, pois, diferentemente de um processo industrial como a produção de parafusos na qual existe repetição, por exemplo. No processo de software, cada atividade produtiva é diferente da outra.

O link mostrado na Figura anterior ‘Controle Esforço’ leva para a planilha que será detalhada na próxima atividade.

4.2.2.6 Determinar Causas

Seguindo o raciocínio da atividade anterior, agora se deve, baseado no gráfico de controle gerado, identificar a ocorrência de observações fora dos limites de especificação.

Para cada uma dessas observações fora dos limites, devem ser descritos os motivos de sua ocorrência. Estas observações são denominadas causas especiais, e caracterizam que neste processo não existem apenas causas aleatórias de influência. Neste exemplo apenas 1 motivo de ocorrência foi detalhado, como mostra a Figura 64.

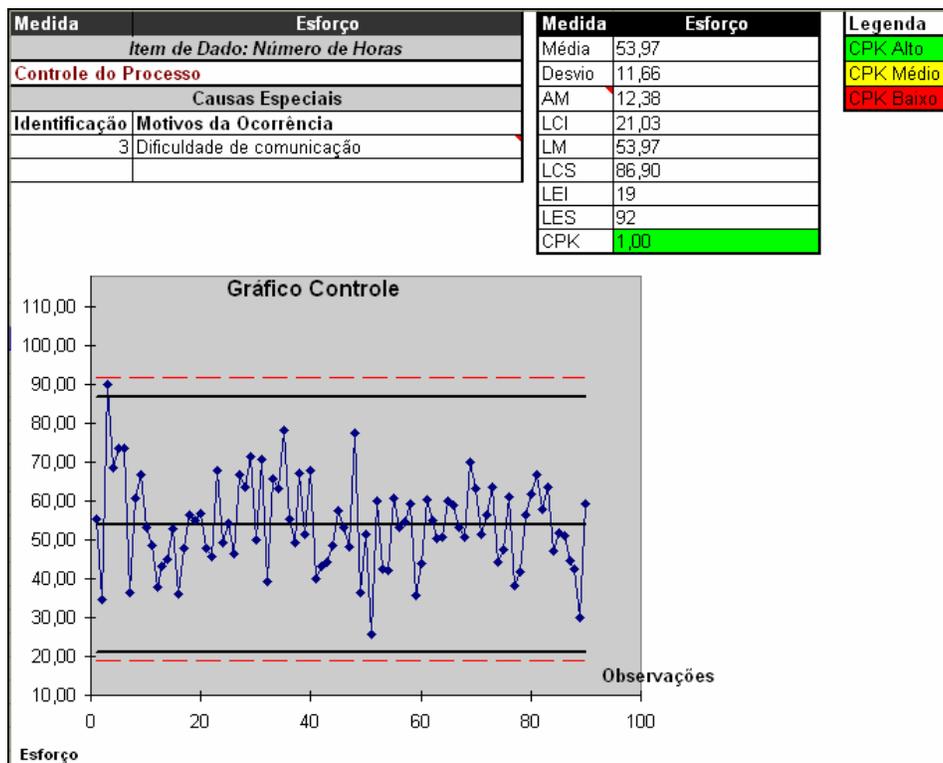


FIGURA 64 Determinar Causas

Nesta figura pode-se observar o gráfico de controle, baseado nos dados simulados e a identificação das causas especiais, bem como o motivo de ocorrência para cada uma delas.

Os motivos de ocorrência são descrições referentes ao porque do acontecimento de uma determinada causa especial identificada. Para tal descrição, podem ser realizadas reuniões entre a equipe do projeto (Braistorming), com a finalidade de levantar opiniões para tal ocorrência e formular um texto resumo de todo o levantamento.

Na Tabela 28, apenas um pequeno texto está sendo mostrado para cada motivo de ocorrência, mas como comentário da célula, existem mais explicações relacionadas ao motivo. Por exemplo:

TABELA 29 Representação da análise de variância

Id	3
Motivo de Ocorrência	Dificuldade de Comunicação
Comentários adicionais	Dificuldade de comunicação entre a organização PM Teresina com a equipe de análise de requisitos. Isto levou a uma falta de entendimento sobre a atividade a ser desenvolvida por parte dos desenvolvedores, na iteração 1, na fase de desenvolvimento.

** Essas descrições referentes a Tabela 28 são fictícias*

Deverá ser gerada uma planilha para cada medida selecionada. Neste exemplo, a medida foi 'Esforço', mas assim como foi realizado para esta, devem ser gerados gráficos de controle e identificação de causas especiais para todas as outras medidas.

4.2.2.7 Identificar Mudanças

Nesta fase são identificadas as causas comuns influenciadoras no Processo de Desenvolvimento de Software. Para tal identificação devem ser realizados experimentos estatísticos relacionados a cada uma das medidas selecionadas.

Neste exemplo, será mostrado o delineamento experimental para a medida ‘Esforço’, mais especificamente para a variável tempo das atividades * número de pessoas, bem como os resultados obtidos pela realização de tal experimento.

A Figura 65 apresenta o Delineamento para a medida esforço:

DOE - DELINEAMENTOS EXPERIMENTAIS		
Medida	Esforço	
	PSM	
Delineamento		DIC
Itens de Dados	Estrutura	Atributo
Numero de horas	Iteração	Atividade
Numero de pessoas	Organização	
	DOE	
Fatores	Variáveis	
Iteração (3)	Numero de horas * Número de pessoas	
Organização (5)		
Atividade (3)		
Link Dados	Artefatos\DOE Esforco.dbf	
Link Análise Completa	Artefatos\DOE Esforco Completo.rtf	
Link Análise Resumida	Artefatos\DOE Esforco Resumido.doc	
Link Análise Final	Planilha DOE Esforço	

FIGURA 65 Identificar Mudanças: Delineamento para medida Esforço

Nesta figura são apresentadas características da medida esforço relacionada ao *PSM Insight* e sua equivalência em termos Estatísticos, conforme apresentado neste tópico, na seção de Correspondência entre CMMI – Seis

Sigma - PSM. Neste caso, a variável definida para análise estatística foi Número de horas * Número de pessoas, que significa o número de horas gastas em uma atividade multiplicado pelo número de pessoas envolvidas na mesma atividade.

Os fatores influenciadores foram: Iteração (3 níveis: 1, 2 e 3); Organização (5 níveis: Canela-RS, Santa Clara-RS, Amparo-SP, Recreio-MG, Campina Grande-PB).

Na parte inferior da Figura 65 podemos observar:

- Link de dados: link para dados coletados referentes à variável Número de horas * Número de pessoas;
- Link Análise Completa: link para um documento contendo um relatório completo sobre a análise realizada. Diretamente gerado pela ferramenta para Delineamentos Experimentais escolhida;
- Link Análise Resumida: link para um artefato que resume os principais resultados obtidos pelo experimento. Ver Anexo B;
- Link Análise Final: link para a planilha 'DOE Esforço' na qual estão detalhadas as principais conclusões das análises e propostas para alteração do processo. Ver Figura 66, a seguir.

Medida	Esforço	Legenda Conclusões	Legenda Alteração
Melhoria do Processo		Causa Boa	Alteração Implementada
Causas Comuns		Causa Informativa	Alteração em Estudo
Identificação Principais Conclusões das Análises		Causa Ruim	Alteração Descartada
1	A atividade de desenvolvimento é superior a todas as outras em média		
2	A atividade de planejamento e de teste não diferem estatisticamente entre si		
3	A Organização da PM Canela é inferior, estatisticamente, em média, se comparada com as outras PMs		
4	Os níveis do fator iteração não diferem estatisticamente entre si		
Alteração do Processo			
Identificação Propostas para Alteração do Processo			
1	Prover treinamentos em desenvolvimento e alocar uma quantidade maior de pessoas nesta atividade		

FIGURA 66 Identificar Mudanças: Causas Comuns

Cada causa comum identificada possui um identificador único. Isto para facilitar a localização das conclusões que influenciarão no processo e a forma de influência destas causas, ou seja, se resultarão em alteração no processo ou não.

Na parte superior da Figura 66 listam-se as conclusões obtidas pela realização do experimento delineado na Figura 65. Na parte inferior são relatadas as propostas de alteração do processo, todas baseadas nas conclusões identificadas anteriormente.

Caso seja necessário adicionar informações extras, estas podem ser descritas utilizando o recurso de comentário de células da planilha eletrônica na qual o artefato da Planilha Geral foi elaborado.

Como exemplo da utilização do recurso de comentário para a Causa Comum de identificação igual a 3 - *A Organização da PM Canela é inferior, estatisticamente, em média, se comparada com as outras PMs* - tem-se:

- Obs.1: esta organização trabalha com maior rapidez, pois gasta um menor número de horas em suas atividades se comparadas às outras organizações.
- Obs.2: não existem diferenças significativas estatisticamente entre o número de horas gastas em atividades para as demais organizações. Indicando que as outras organizações possuem o mesmo desempenho de trabalho.

Trata-se de uma explicação mais detalhada da conclusão. Dessa forma, são relatadas as conclusões e as propostas de alteração. De acordo com a avaliação de aplicabilidade, as propostas são, ou não, pontos de alteração no Processo de Desenvolvimento de Software.

É gerada uma planilha como a da Figura 65 para cada um dos Delineamentos Experimentais definidos na planilha 'DOE'.

4.2.3 Considerações Finais sobre o Tópico

A simulação aqui apresentada foi de grande valia para a obtenção de dados, proporcionando a verificação da aplicabilidade do Processo de Medição a um desenvolvimento de software real.

Os resultados obtidos por meio dessa simulação foram significativos, pois possibilitaram a construção de gráficos de controle, bem como a análise de experimentos, confirmando a possibilidade da aplicação do Processo de Medição de Software em situações reais, contribuindo consideravelmente ao controle e melhoria do processo.

Alguns problemas foram encontrados e tiveram de ser solucionados durante a utilização do Processo de Medição de Software, conforme abaixo:

- As primeiras simulações de dados foram pobres em termos de possibilidade de análise, inviabilizando uma demonstração ampla da aplicabilidade do Processo de Medição de Software. Outras simulações tiveram de ser geradas, de forma a auxiliar em uma mais completa apresentação do Processo de Medição de Software proposto nesta dissertação;
- Impossibilidade de realização de delineamentos experimentais antes da realização do trabalho de correspondência entre Seis Sigma – PSM. A correspondência entre termos do PSM e conceitos estatísticos foi a principal chave para um delineamento experimental que resultasse em informações facilitadoras ao acompanhamento do projeto.

Pretende-se aplicar o Processo de Medição de Software a todo o desenvolvimento do Projeto Via Digital, assim que ele comece a ser desenvolvido pelas empresas de softwares responsáveis pelos sistemas de cada uma das prefeituras.

5 CONCLUSÃO

- A correspondência entre o Modelo CMMI e a Metodologia Estatística do Seis Sigma possibilitou a identificação das principais atividades necessárias para um Processo de Medição de Software significativo, facilitando a obtenção de níveis 4 e 5 do CMMI para as empresas de Software Brasileiras que o utilizarem.
- A correspondência entre termos do PSM e Conceitos Estatísticos criou uma linguagem de comunicação entre a Engenharia de Software, mais especificamente com a área de Medição de Software e a Estatística. Esta comunicação possibilita uma **Organização Estatística** dos dados coletados de forma coerente, facilitando a obtenção de informações concernentes ao Processo de Software utilizado.
- O Processo de Medição de Software construído, com base no Modelo CMMI e na metodologia Estatística do Seis Sigma, se mostrou fortemente aplicável e informativo, no projeto piloto no qual foi utilizado.
- O principal objetivo da dissertação foi alcançado: criar um facilitador para as empresas de software. Um Processo de Medição de Software que serve como um “intérprete”, que faz com que as boas práticas da Engenharia de Software se comuniquem com as técnicas já consolidadas da Estatística.

Como a principal proposta de trabalho futuro tem-se:

- Desenvolvimento de um sistema que se comunique, com todas as ferramentas utilizadas no Processo de Medição proposto, integrando as informações fornecidas por cada uma delas e facilitando ainda mais a utilização deste processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão da qualidade e garantia da qualidade**: terminologia. NBR ISO 8402/1994. Rio de Janeiro, 1994.

AGUIAR, M. **PSM – O CMM da mensuração de software?** A PSM Transition Organization, 2006.

BAUMOL, W.; BLACKMAN, S.; WOLF, E. **Productivity and American**. Cambridge, 1991.

BASIL, V; S GREEN - Software, IEEE, 1994

BREYFOGLE III, F. W.; CUPELLO, J. M.; MEADOWS, B. **Managing Six Sigma**: a practical guide to understanding, assessing and implementing the strategy that yields bottomline success. New York: J. Wiley, 2001.

DEMING, W. E. **Qualidade**: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques - Saraiva, 1990.

DONEGAN, P.; BANDEIRA L.; SAMPAIO M.; PIRES G. P. **Métricas de Software**: um mapeamento entre Six Sigma e CMMI. In: SIMPROS, 2005.

ECKES, G. **Six Sigma for Everyone**. New Jersey: J. Wiley, 2003.

FENTON N. E.; NEIL, M. **Software Metrics**: Roadmap, Computer Science Department, London, UK Queen Mary and Westfield College, 2000.

FENTON N. E.; PFLEEGER S. L. **Software Metrics**: a rigorous & practical approach. 2.ed. Boston, MA: PWS, 1997.

FLORAC, W. A.; CARLETON, A. D. **Measuring the software process**: statistical process control for software process improvement. A. Wesley, 1999. (The SEI Series in Software Engineering Institute).

GOETHERT, W.; FISCHER, M. **“Deriving enterprise-based measures using the balanced scorecard and goal-driven measurement techniques”**. Software Engineering Measurement and Analysis Initiative. CMU/SEI-2003-TN-024, 2003.

GOETHERT, W.; HAYES, W. **“Experiences in Implementing Measurements Programs”**. Software Engineering Measurement and Analysis Initiative. CMU/SEI- 2001-TN-026. 2001.

HARRY, M. J. **The nature of Six Sigma qualiti Motorola**. Schaumburg, IL. Government Electronics Group, 1989.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma, the breakthrough management strategy revolutionizing the world’s top corporation**. New York: Currency, 2000.

HOERL, R. Six Sigma black belts: what do they need to know? **Journal of Quality Technology**, Milwaukee, v. 33, n. 4, p.391- 406, out. 2001.

HOLMES, L. **IT Measurements practical advice from the experts**. A. Wesley, 2002.

HUMPHREY, W. S. **Characterizing the software process**. IEEE Software, 1988.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS AND ENGINEERS. Std 610.12-1990. **Standard glossary of software engineering terminology**. Piscataway: IEEE, 1990.

INSIGHT. **Manual de utilização do ferramenta PSM Insight**. PSM guide version 4.0. PSM. Disponível em: <www.psmc.com>. Acesso em: 10 maio 2005.

LIMA, P. C.; ABREU, A. R.. **Estatística experimental: ensaios balanceados**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001.

MCGARRY, J.; CARD, D.; JONES, C. **Practical software measurement: objective information for decision makers**. Addison-Wesley, 2002.

NOMELINI, Q. S. S. **Padrões de não-aleatoriedade no controle estatístico de processo**. Lavras : UFLA, 2007.

OLIVEIRA, M. S. **Projeto de pesquisa para tese: programa de doutoramento em engenharia de produção área de concentração qualidade**, 1998.

OLIVEIRA, S. O. **Qualidade de processo software: medição e análise**. Lavras: UFLA, 2006.

OMAN, P.; PFLEGEER S.L. **Applying software metrics**. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 1997.

PARK R. E.; GOETHERT W. B.; FLORAC W. A. **Goal-Driven software measurement: a guidebook**, CMU/SEI-96-HB-002, Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1996.

PAULK, M. C.; WEBER, C. V.; CURTIS, B.; CHRISISS, M. B. et al. **The capability maturity model: guidelines for improving the software process**. Estados Unidos: A. Wesley, 1995.

PONDÉ, J. **Competitividade da indústria de software**. Campinas, 1993.

PRACTICAL SOFTWARE MEASUREMENT. **PSM Insight Version 4.2.2**. Disponível em: <www.psmc.com>. Acesso em: 15 jul. 2005.

REIS, D. A. F. dos. **Seis Sigma: um estudo aplicado ao setor eletrônico**. 2003. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROTONDARO. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. Atlas, 2002

RUBIN, H. The making measurement happen workshop. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATIONS OF SOFTWARE MEASUREMENTS, 3., 1992, La Jolla. **Proceedings...** La Jolla, California, 1992.

SEI, **Software Engineering Institute**, 4500 Fifth Avenue, Pittsburg. 2007.

SNEE, R. D. **Impact of Six Sigma on quality engineering**. Quality Engineering, 2000.

SOUZA, A. D. **Estudo e avaliação da área de processo de planejamento de projeto de acordo com o modelo CMMI-SW Nível 2 na empresa SWQuality**

situada em Lavras-MG. Disponível em:
<<http://www.comp.ufla.br/curso/ano2004/>>. Acesso em: 15 nov. 2004.

STAMATIS, D. H. **Six Sigma fundamental:** a complete guide to the system, methods and tools. New York: Productivity, 2004.

USEVICIUS, L. A. **Implantação da metodologia Seis Sigma e aplicação da técnica estatística projeto de experimentos na resolução de problemas e otimização de processos de fabricação.** 2004. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a cultura Seis Sigma.** Nova Lima: Werkema, 2004. v.1.

ZUBROW, D. **Measurement with a focus:** goal-driven software. The journal of Defense Software Engineering, 1998.

7 ANEXOS

ANEXO A	Página
FIGURA 1A Artefato do Processo de Medição para Documentação Resumida dos Delineamentos Experimentais Realizados. TEMPLATE na finalidade de documentar os principais resultados obtidos com Análises de Variância realizadas durante a utilização do Processo de Medição.....	226
ANEXO B	Página
FIGURA 1B Artefato do Processo de Medição para Documentação Resumida do Delineamento Experimental Realizado para a Medida Esforço por meio de Dados Simulados.....	227
ANEXO C	Página
TABELA 1C Dados de Simulação para a Medida Esforço na Finalidade de Possibilitar a Utilização Piloto do Processo de Medição de Software.....	229
ANEXO D	Página
TABELA 1D Demonstração de Cálculo de ppm para Diferentes Níveis de Sigma.....	232
ANEXO E	Página
TABELA 1E Constantes para Construção dos Gráficos de Controle (Montgomery, 2004)	233

ANEXO A

Medida	<Nome da Medida>
Delineamento	<Tipo de Delineamento>
Responsável	<Nome do Responsável>

Fatores	Níveis
<Nome do Fator 1>	<Níveis do Fator 1>
<Nome do Fator 2>	<Níveis do Fator 2>
<Nome do Fator 3>	<Níveis do Fator 3>
Variável	<Nome da Variável>

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

<Inserir aqui Tabela de Análise de Variância>

TESTES: <Nome do Teste>

<Inserir aqui Informações sobre o Teste Realizado>

RESULTADO FINAL

<Inserir Texto com o Resultado do Experimento>

Delineamento Resumido
Medida: <Nome da Medida>

ANEXO B

Medida	Esforço
Delineamento	Fatorial em DBC
Responsável	Rafael Vargas Mesquita
Fatores	Níveis
Iteração	1 2 3
Organização	PM Santa Clara PM Canela PM Teresina PM Recreio PM Amparo
Atividade	Desenvolvimento Planejamento Teste
Variável	Número de Horas * Número de Pessoas

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCOS	2	82.893547	41.446773	0.394	0.6760
ATIVIDADES	2	1596.410087	798.205043	7.582	0.0010
ORGANIZACA	4	1346.566573	336.641643	3.198	0.0178
ATIVIDADES*ORGAN	8	1384.089847	173.011231	1.643	0.1274
erro	73	7684.796387	105.271183		

Total corrigido 89 12094.756440

CV (%) = 19.01

Média geral: 53.9653333 Número de observações: 90

Obs. Codificações usadas para as FV do quadro de ANAVA

- 1: BLOCOS
- 2: ATIVIDADES
- 3: ORGANIZACA
- 4: ATIVIDADES*ORGAN
- 5: Fim

TESTES: TUKEY

BLOCOS

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	52,929333	a1
3	53,724000	a1
1	55,242667	a1

ATIVIDADES

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Planejamento	50,145667	a1
Teste	51,917333	a1
Desenvolvimento	59,833000	a2

ORGANIZAÇÃO

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
PM Canela	48,315000	a1
PM Recreio	51,799444	a1 a2
PM Santa Clara	53,131111	a1 a2
PM Amparo	58,089444	a2
PM Teresina	58,491667	a2

*As médias nas linhas seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si.

RESULTADO FINAL

Os resultados observados para a variável 'horas', que na verdade corresponde ao número de horas trabalhadas por pessoa, indicam que:

- **Blocos:** os níveis do fator iteração não diferem estatisticamente entre si. Neste caso, os blocos estão representando o fator iteração, o qual possui os seguintes níveis: Iteração 1, Iteração 2 e Iteração 3. Isto significa que não existem diferenças entre as horas gastas nas atividades por iteração;
- **Atividades:** a atividade de desenvolvimento é superior, em média, se comparada com as atividades de planejamento e teste. Essa é uma atividade mais dispendiosa, demandando maior quantidade de tempo para sua realização;
- **Organização:** a organização da PM Canela é inferior, estatisticamente, em média, se comparada com as outras PMs. Ou seja, trabalha com maior rapidez, pois gasta um menor número de horas em suas atividades se comparadas às outras organizações. Observou-se também que não existe diferença estatisticamente significativa entre o número de horas gastas em atividades para as demais organizações.

ANEXO C

Projeto:	Via Digital						
Item:	Recursos e Custo						
Categoria:	Pessoal						
Medida:	Esforço						
Média geral	50,00						
Blocos (Iteração)	Fatores					Variáveis	Resíduos
	EB	Atividade	EA	Organização	EO	Horas*Pessoa	N(0;DP=9)
1	3	Desenvolvimento	5	PM Santa Clara	0	55,30	-2,702089432
1	3	Desenvolvimento	5	PM Canela	-2	34,50	-11,49914851
1	3	Desenvolvimento	5	PM Teresina	5	90,20	2,198315769
1	3	Desenvolvimento	5	PM Recreio	-1	68,49	11,48826186
1	3	Desenvolvimento	5	PM Amparo	5	73,79	10,78515197
1	3	Desenvolvimento	5	PM Santa Clara	0	73,60	15,59819793
1	3	Desenvolvimento	5	PM Canela	-2	36,35	-19,65228876
1	3	Desenvolvimento	5	PM Teresina	5	60,89	-2,10763119
1	3	Desenvolvimento	5	PM Recreio	-1	66,86	9,855202734
1	3	Desenvolvimento	5	PM Amparo	5	53,22	-9,780305845
1	3	Planejamento	2	PM Santa Clara	0	48,79	-6,211837444
1	3	Planejamento	2	PM Canela	-2	37,79	-15,21389095
1	3	Planejamento	2	PM Teresina	5	43,38	-16,62219802
1	3	Planejamento	2	PM Recreio	-1	45,20	-8,798665476
1	3	Planejamento	2	PM Amparo	5	53,04	-6,961563486
1	3	Planejamento	2	PM Santa Clara	0	35,94	-19,06138095
1	3	Planejamento	2	PM Canela	-2	47,89	-5,111323844
1	3	Planejamento	2	PM Teresina	5	56,36	-3,636428119
1	3	Planejamento	2	PM Recreio	-1	55,21	1,213677479
1	3	Planejamento	2	PM Amparo	5	56,71	-3,289436563
1	3	Teste	-2	PM Santa Clara	0	48,06	-2,942915671
1	3	Teste	-2	PM Canela	-2	45,67	-3,332164624
1	3	Teste	-2	PM Teresina	5	68,08	12,08377398
1	3	Teste	-2	PM Recreio	-1	49,23	-0,767560095
1	3	Teste	-2	PM Amparo	5	54,32	-1,675418844
1	3	Teste	-2	PM Santa Clara	0	46,38	-4,618866569
1	3	Teste	-2	PM Canela	-2	66,75	17,74990778
1	3	Teste	-2	PM Teresina	5	63,79	7,79105676
1	3	Teste	-2	PM Recreio	-1	71,38	21,38089258
1	3	Teste	-2	PM Amparo	5	50,11	-5,89416004
2	1	Desenvolvimento	5	PM Santa Clara	0	70,95	14,95310244

2	1	Desenvolvimento	5	PM Canela	-2	39,49	-14,51157914
2	1	Desenvolvimento	5	PM Teresina	5	65,85	4,850535333
2	1	Desenvolvimento	5	PM Recreio	-1	63,12	8,119723134
2	1	Desenvolvimento	5	PM Amparo	5	78,27	17,27024028
2	1	Desenvolvimento	5	PM Santa Clara	0	55,24	-0,76065362
2	1	Desenvolvimento	5	PM Canela	-2	49,29	-4,714155466
2	1	Desenvolvimento	5	PM Teresina	5	67,08	6,076245427
2	1	Desenvolvimento	5	PM Recreio	-1	51,57	-3,431914593
2	1	Desenvolvimento	5	PM Amparo	5	67,82	6,818502243
2	1	Planejamento	2	PM Santa Clara	0	40,00	-12,99767973
2	1	Planejamento	2	PM Canela	-2	43,37	-7,625137641
2	1	Planejamento	2	PM Teresina	5	44,31	-13,69413894
2	1	Planejamento	2	PM Recreio	-1	48,73	-3,265893156
2	1	Planejamento	2	PM Amparo	5	57,71	-0,292312734
2	1	Planejamento	2	PM Santa Clara	0	53,25	0,253053258
2	1	Planejamento	2	PM Canela	-2	48,10	-2,904444045
2	1	Planejamento	2	PM Teresina	5	77,75	19,75051418
2	1	Planejamento	2	PM Recreio	-1	36,32	-15,68234438
2	1	Planejamento	2	PM Amparo	5	51,37	-6,628292795
2	1	Teste	-2	PM Santa Clara	0	25,80	-23,1982267
2	1	Teste	-2	PM Canela	-2	60,03	13,02903001
2	1	Teste	-2	PM Teresina	5	42,48	-11,51787274
2	1	Teste	-2	PM Recreio	-1	42,12	-5,882219511
2	1	Teste	-2	PM Amparo	5	60,82	6,819423106
2	1	Teste	-2	PM Santa Clara	0	53,20	4,200405783
2	1	Teste	-2	PM Canela	-2	54,87	7,871478829
2	1	Teste	-2	PM Teresina	5	59,36	5,361675903
2	1	Teste	-2	PM Recreio	-1	35,65	-12,34664978
2	1	Teste	-2	PM Amparo	5	43,96	-10,04164687
3	-1	Desenvolvimento	5	PM Santa Clara	0	60,25	6,245950317
3	-1	Desenvolvimento	5	PM Canela	-2	54,90	2,903727818
3	-1	Desenvolvimento	5	PM Teresina	5	50,54	-8,458539469
3	-1	Desenvolvimento	5	PM Recreio	-1	50,83	-2,168530955
3	-1	Desenvolvimento	5	PM Amparo	5	60,18	1,183821041
3	-1	Desenvolvimento	5	PM Santa Clara	0	59,02	5,020178833
3	-1	Desenvolvimento	5	PM Canela	-2	53,25	1,248434955
3	-1	Desenvolvimento	5	PM Teresina	5	50,80	-8,198651358
3	-1	Desenvolvimento	5	PM Recreio	-1	69,96	16,96361323
3	-1	Desenvolvimento	5	PM Amparo	5	63,38	4,384783097
3	-1	Planejamento	2	PM Santa Clara	0	51,65	0,650150014

3	-1	Planejamento	2	PM Canela	-2	56,47	7,468570402
3	-1	Planejamento	2	PM Teresina	5	63,76	7,758069387
3	-1	Planejamento	2	PM Recreio	-1	44,27	-5,728783208
3	-1	Planejamento	2	PM Amparo	5	47,69	-8,308725228
3	-1	Planejamento	2	PM Santa Clara	0	61,00	10,00069915
3	-1	Planejamento	2	PM Canela	-2	38,19	-10,81060873
3	-1	Planejamento	2	PM Teresina	5	41,97	-14,03002898
3	-1	Planejamento	2	PM Recreio	-1	56,40	6,401924111
3	-1	Planejamento	2	PM Amparo	5	61,75	5,745655471
3	-1	Teste	-2	PM Santa Clara	0	66,85	19,85119525
3	-1	Teste	-2	PM Canela	-2	57,99	12,99379164
3	-1	Teste	-2	PM Teresina	5	63,74	11,7351351
3	-1	Teste	-2	PM Recreio	-1	47,02	1,016643409
3	-1	Teste	-2	PM Amparo	5	52,02	0,017557795
3	-1	Teste	-2	PM Santa Clara	0	51,08	4,083312888
3	-1	Teste	-2	PM Canela	-2	44,77	-0,229632633
3	-1	Teste	-2	PM Teresina	5	42,51	-9,492075606
3	-1	Teste	-2	PM Recreio	-1	30,03	-15,97325536
3	-1	Teste	-2	PM Amparo	5	59,45	7,454982551

ANEXO D

Limite	Porcentagem		ppm de Defeitos			
	Sem Desvio	Com Desvio	ppm de Defeitos	Sem Desvio	Detalhes	Com Desvio
6	0,999999998	0,999996602	1 - Dist.Norm (6; 0; 1)	0,0000000010	1 - Dist.Norm (7,5; 0; 1)	0,0000000000
			1 - Dist.Norm (6; 0; 1)	0,0000000010	1 - Dist.Norm (4,5; 0; 1)	0,0000033977
			Total	0,002	Total	3,398
5	0,999999427	0,999767371	1 - Dist.Norm (5; 0; 1)	0,0000002867	1 - Dist.Norm (6,5; 0; 1)	0,0000000000
			1 - Dist.Norm (5; 0; 1)	0,0000002867	1 - Dist.Norm (3,5; 0; 1)	0,0002326291
			Total	0,573	Total	232,629
4	0,999936658	0,993790316	1 - Dist.Norm (4; 0; 1)	0,0000316712	1 - Dist.Norm (5,5; 0; 1)	0,0000000190
			1 - Dist.Norm (4; 0; 1)	0,0000316712	1 - Dist.Norm (2,5; 0; 1)	0,0062096653
			Total	63,342	Total	6209,684
3	0,997300204	0,933189401	1 - Dist.Norm (3; 0; 1)	0,0013498980	1 - Dist.Norm (4,5; 0; 1)	0,0000033977
			1 - Dist.Norm (3; 0; 1)	0,0013498980	1 - Dist.Norm (1,5; 0; 1)	0,0668072013
			Total	2699,796	Total	66810,599
2	0,954499736	0,691229832	1 - Dist.Norm (2; 0; 1)	0,0227501319	1 - Dist.Norm (3,5; 0; 1)	0,0002326291
			1 - Dist.Norm (2; 0; 1)	0,0227501319	1 - Dist.Norm (0,5; 0; 1)	0,3085375387
			Total	45500,264	Total	308770,168
1	0,682689492	0,302327873	1 - Dist.Norm (1; 0; 1)	0,1586552539	1 - Dist.Norm (2,5; 0; 1)	0,0062096653
			1 - Dist.Norm (1; 0; 1)	0,1586552539	1 - Dist.Norm (-0,5; 0; 1)	0,6914624613
			Total	317310,508	Total	697672,127

Obs: as funções usadas são do EXCEL.

ANEXO E

Amostra (n)	Gráfico de médias		Gráfico de desvio padrão			Gráfico de amplitude			
	A ₂	A ₃	c ₄	B ₃	B ₄	d ₂	d ₃	D ₃	D ₄
2	1,880	2,658681	0,797885	0,000000	3,266532	1,128	0,853	0,000	3,267
3	1,023	1,954410	0,886227	0,000000	2,568170	1,693	0,888	0,000	2,575
4	0,729	1,628103	0,921318	0,000000	2,266047	2,059	0,880	0,000	2,282
5	0,577	1,427299	0,939986	0,000000	2,088998	2,326	0,864	0,000	2,115
6	0,483	1,287128	0,951533	0,030363	1,969637	2,534	0,848	0,000	2,004
7	0,419	1,181916	0,959369	0,117685	1,882315	2,704	0,833	0,076	1,924
8	0,373	1,099095	0,965030	0,185090	1,814910	2,847	0,820	0,136	1,864
9	0,337	1,031661	0,969311	0,239133	1,760867	2,970	0,808	0,184	1,816
10	0,308	0,975350	0,972659	0,283706	1,716294	3,078	0,797	0,223	1,777
11	0,285	0,927394	0,975350	0,321280	1,678720	3,173	0,787	0,256	1,744
12	0,266	0,885906	0,977559	0,353512	1,646488	3,258	0,778	0,283	1,717
13	0,249	0,849546	0,979406	0,381556	1,618444	3,336	0,770	0,307	1,693
14	0,235	0,817336	0,980971	0,406245	1,593755	3,407	0,763	0,328	1,672
15	0,233	0,788541	0,982316	0,428199	1,571800	3,472	0,756	0,347	1,653
16	0,212	0,762595	0,983483	0,447888	1,552112	3,532	0,750	0,363	1,637
17	0,203	0,739057	0,984506	0,465675	1,534324	3,588	0,744	0,378	1,622
18	0,194	0,717576	0,985410	0,481849	1,518151	3,640	0,739	0,391	1,608
19	0,187	0,697868	0,986214	0,496638	1,503362	3,689	0,734	0,403	1,597
20	0,180	0,679701	0,986934	0,510231	1,489769	3,735	0,729	0,415	1,585
21	0,173	0,662885	0,987583	0,522779	1,477221	3,778	0,724	0,425	1,575
22	0,167	0,647259	0,988170	0,534410	1,465590	3,819	0,720	0,434	1,566
23	0,162	0,632690	0,988704	0,545230	1,454770	3,858	0,716	0,443	1,557
24	0,157	0,619063	0,989193	0,555330	1,444670	3,895	0,712	0,451	1,548
25	0,153	0,606281	0,989640	0,564786	1,435214	3,931	0,708	0,459	1,541
26		0,594260	0,990052	0,573663	1,426337				
27		0,582927	0,990433	0,582019	1,417981				
28		0,572219	0,990786	0,589902	1,410098				
29		0,562081	0,991113	0,597355	1,402645				
30		0,552464	0,991418	0,604416	1,395584				

8 GLOSSÁRIO

Artefato: é o produto de uma ou mais atividades dentro do contexto do desenvolvimento de um software ou sistema.

Bug: é um erro no funcionamento comum de um software, também chamado de falha na lógica programacional de um programa de computador, que pode causar falhas no objetivo de uma ação na utilização de um programa de computador.

Hipertexto: é um texto suporte que acopla outros textos em sua superfície, cujo acesso se dá através dos links que têm a função de conectar a construção de sentido, estendendo ou complementando o texto principal. Em computação, hipertexto é um sistema para a visualização de informação cujos documentos contêm referências internas para outros documentos (chamadas de hiperlinks ou, simplesmente, links), e para a fácil publicação, atualização e pesquisa de informação.

Stakeholder: parte interessada ou interveniente. Refere-se a todos os envolvidos em um processo, por exemplo, clientes, colaboradores, investidores, fornecedores, comunidade etc.

Baseline: referencial utilizado para medir e monitorar o desempenho do projeto.