

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Fernando Amâncio dos Santos

**ANÁLISE DE PROCESSOS DE ENGENHARIA
DO VEÍCULO DE SONDAGEM VSB-30 USANDO
IDEF0 E CMMI**

Taubaté-SP
2009

Fernando Amâncio dos Santos

**ANÁLISE DE PROCESSOS DE ENGENHARIA DO VEÍCULO
DE SONDAGEM VSB-30 USANDO IDEF0 E CMMI**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia da Universidade
de Taubaté.

Área de Concentração: Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Muniz Junior.

Co-Orientador: Prof. Dr. Geilson Loureiro.

**Taubaté-SP
2009**

Santos, Fernando Amâncio dos
Análise de processos de engenharia do veículo de
sondagem VSB-30 usando IDEF0 e CMMI. / Fernando Amâncio
dos Santos. Taubaté/SP – 2009.
141f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Taubaté,
Departamento de Engenharia Mecânica.

Orientação: Prof. Dr. Jorge Muniz Junior, Departamento de
Engenharia Mecânica.

1. Engenharia de Sistemas. 2. Veículo de Sondagem. 3.
Capabilidade. I. Título.

FERNANDO AMÂNCIO DOS SANTOS

**ANÁLISE DE PROCESSOS DE ENGENHARIA DO VEÍCULO DE SONDAGEM
VSB-30 USANDO IDEF0 E CMMI**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia da Universidade
de Taubaté.

Área de Concentração: Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Muniz Junior.

Co-Orientador: Prof. Dr. Geilson Loureiro.

Data: 19 de dezembro de 2009.

Resultado: Dissertação aprovada pelos abaixo assinados.

BANCA EXAMINADORA

Prof .Dr. Antonio Faria Neto Universidade de Taubaté – UNITAU

Assinatura_____

Prof. Dr. Mario Niwa Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial – DCTA

Assinatura_____

Prof. Dr. Jorge Muniz Junior Universidade Estadual Paulista – UNESP

Assinatura_____

Prof. Dr. Geilson Loureiro Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Assinatura_____

Dedico este trabalho a minha amada
filha Vitória e amada esposa Patrícia.

AGRADECIMENTOS

À Agência Espacial Brasileira, pelo patrocínio do curso de mestrado.

Ao Instituto de Fomento e Coordenação Industrial, por acreditar no meu potencial e investir tempo e recursos para minha formação.

Ao meu Orientador Jorge Muniz Junior, por transformar minhas idéias com seus conhecimentos, pela sabedoria em me mostrar como é possível sempre melhorar as colocações à medida que a dissertação caminhava para sua versão final e, por me incentivar a cada fase.

Ao meu Co-Orientador Geilson Loureiro, pela objetividade em expor suas idéias facilitando o meu entendimento, por passar o conhecimento amplo que possui em engenharia de sistemas transformando esse entendimento em dissertação e, pela sabedoria em esclarecer as dúvidas guiando-me para realização final do trabalho.

Ao Engenheiro Mario Niwa, pelas importantes colocações apontadas contribuindo com essa dissertação e com a instituição aeroespacial, por conseqüência.

Ao Professor Antonio Faria Neto, pelas relevantes considerações contribuindo com a melhoria da dissertação até sua versão final.

A todos os Entrevistados que tiveram paciência e tempo de me receberem e esclarecerem os processos para que essa dissertação se tornasse realidade.

Sendo todas as coisas causadas e causadoras, ajudadas e ajudantes, mediatas e imediatas, e todas elas mantidas por um elo natural e imperceptível, que interliga as mais distantes e as mais diferentes, considero impossível conhecer as partes sem conhecer o todo, assim como conhecer o todo sem conhecer, particularmente, as partes...

Pascal

RESUMO

Essa dissertação, motivada pelo relatório de investigação do acidente do Veículo Lançador de Satélites VLS-1 V03, nas falhas em programas espaciais estrangeiros avançados e com suas recomendações de melhoria, analisa os processos existentes e propõe processos adicionais para a engenharia de sistemas do Veículo de Sondagem VSB-30. O VSB-30 é desenvolvido pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço. Os processos são: gerenciamento de requisitos, desenvolvimento de requisitos, soluções técnicas, verificação, integração do produto e validação. Todos os processos estão baseados na análise do atendimento às melhores práticas do CMMI (Modelo Integrado de Capabilidade e Maturidade) e da utilização da notação IDEF0. Os processos existentes foram analisados usando a notação IDEF0 com relação ao CMMI. Os processos adicionais estão baseados nas melhores práticas do CMMI usando a notação IDEF0. Melhorias foram propostas aos processos que atendiam ao CMMI, e processos adicionais e seus respectivos diagramas IDEF0 foram propostos para as áreas de processos que não são cobertas pelos processos existentes. Usando os diagramas IDEF0, métricas de produto e processo foram derivadas para serem utilizadas em desenvolvimentos futuros. A capacidade de processos e a maturidade da organização foram avaliadas baseadas nos níveis estabelecidos pelo CMMI. As conclusões dessa dissertação são que o CMMI pode ser utilizado como um modelo de referência para avaliação do nível da capacidade dos processos do VSB-30 e de outros veículos, bem como da maturidade da organização e, que a notação IDEF0 fornece a visibilidade necessária para identificar oportunidades para melhoria de processos como, por exemplo, um melhor gerenciamento de requisitos de sistemas e subsistemas, e a rastreabilidade dos requisitos no ciclo de vida de um programa espacial.

Palavras-chave: Engenharia de Sistemas. VSB-30. CMMI. Capabilidade. Maturidade. IDEF0. Processos. Melhorias. Métricas.

ABSTRACT

This thesis, based on VLS-1 V03 accident investigation report, advanced foreigner space programs faults and their improvements recommendations, analyses existing processes and proposes additional ones for the systems engineering of Sounding Rocket VSB-30. VSB-30 is developed by *Instituto de Aeronáutica e Espaço*. The processes are: requirements management, requirements development, technical solution, verification, product integration and validation. All processes are based on compliance with CMMI (Capability Maturity Model Integration) best practices and the use of IDEF0 notation. Existing processes were analysed in comparison with CMMI using IDEF0 notation. Processes proposed are based on CMMI best practices using the IDEF0 notation. Improvements were proposed to the process complying with CMMI and additional processes and their respective IDEF0 models were proposed to processes areas not covered by existing processes. Using IDEF0 models, product and process metrics were derived in order to serve as a reference for future developments. Process capability and organization maturity were assessed based on CMMI scale. Conclusions are that CMMI may be used as a reference model for assessing the status of current and other rocket processes capability as well as the organization maturity and that IDEF0 provides the necessary visibility for identifying opportunities for processes improvement as better systems and subsystems requirement management and the traceability of requirements during a space program life cycle.

Keywords: Systems Engineering. VSB-30. CMMI. Capability. Maturity. IDEF0. Processes. Improvements. Metrics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Cadeia de suprimentos	23
Figura 2 - Áreas de atividade do movimento sistêmico	25
Figura 3 - Modelo de desenvolvimento de ciclo de vida em 'cascata'	28
Figura 4 - Modelo de desenvolvimento de ciclo de vida em 'espiral'	29
Figura 5 - O formato do diagrama em 'V' para um ciclo de vida	31
Figura 6 - As três dimensões críticas	35
Figura 7 - Componentes do modelo CMMI®	37
Figura 8 – Áreas de processos de apoio	40
Figura 9 - Estrutura da representação contínua	40
Figura 10 - Estrutura da representação por estágios	42
Figura 11 - Os processos de engenharia de sistemas do CMMI e suas relações	43
Figura 12 - Diagrama IDEF0	50
Figura 13 - Decomposição Hierárquica do método IDEF0	51
Figura 14 - Representação de um bloco	52
Figura 15 - Representação de setas	52
Figura 16 - Diagrama A-0	54
Figura 17 - Fases do Procedimento Metodológico	56
Figura 18 - Mapeamento das áreas de processos do CMMI usando IDEF0	58
Figura 19 - Veículo de sondagem VSB-30	59
Figura 20 - Diagrama A0 de verificação dos componentes	61
Figura 21 - Diagrama A0 de integração de sistemas e subsistemas	62
Figura 22 - Diagrama A0 de validação	63
Figura 23 - Diagrama A0 do desenvolvimento de requisitos	69
Figura 24 - Desdobramento do Diagrama A0 do desenvolvimento de requisitos	70
Figura 25 - Desdobramento do subprocesso de desenvolvimento de requisitos do produto	71
Figura 26 - Desdobramento do subprocesso de análise e validação de requisitos	72
Figura 27 - Diagrama A0 de gerenciamento de requisitos	73
Figura 28 - Diagrama A0 das soluções técnicas	74
Figura 29 - Desdobramento do Diagrama A0 das soluções técnicas	75
Figura 30 - Desdobramento do subprocesso de desenvolvimento do projeto do produto	76

Figura A1- Diagrama A0 de verificação dos componentes	88
Figura A2 - Desdobramento do Diagrama A0 de verificação dos componentes	89
Figura A3 - Desdobramento do subprocesso de verificar pirotécnicos	89
Figura A4 - Diagrama A0 de integração	90
Figura A5 - Desdobramento do Diagrama A0 de integração	90
Figura A6 - Desdobramento do processo de testar rede elétrica	91
Figura A7 - Desdobramento do processo de montar o 1º estágio	92
Figura A8 - Desdobramento do subprocesso de montar motor S31 e empenas	92
Figura A9 - Desdobramento do subprocesso de montar módulo dianteiro	93
Figura A10 - Desdobramento do processo de montar o 2ºestágio	94
Figura A11 - Desdobramento do subprocesso de montar motor S30 e empenas	94
Figura A12 - Desdobramento do subprocesso de montar motor adaptor	95
Figura A13 - Diagrama A0 de validação	95
Figura A14 - Desdobramento do Diagrama A0 de validação	96
Figura A15 - Desdobramento do subprocesso de validação de estrutura	97
Figura A16 - Desdobramento do subprocesso de validação de descrições estruturais	97
Figura A17 - Desdobramento do subprocesso de validação de interfaces estruturais	98
Figura A18 - Desdobramento do subprocesso de validação subsistemas e integração	98
Figura A19 - Desdobramento do subprocesso de validação de propulsão	99
Figura A20 - Desdobramento do subprocesso de validação da descrição de propulsão	99
Figura A21 - Desdobramento do subprocesso de validação da funcionalidade propulsão	100
Figura A22 - Desdobramento do subprocesso de validação da mecânica de propulsão	100
Figura A23 - Desdobramento do subprocesso de validação de suprimento de energia	101
Figura A24 - Desdobramento do subprocesso de validação do desempenho de suprimento de energia	101
Figura A25 - Desdobramento do subprocesso de validação da instrumentação e seqüenciamento de eventos	102
Figura A26 - Desdobramento do subprocesso de validação da ignição dos propulsores	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Matriz de maturidade de gestão da qualidade segundo Crosby	22
Quadro 2 - Níveis de maturidade de desempenho	23
Quadro 3 - Fases da aplicação da engenharia de sistemas para qualidade	34
Quadro 4 – Vantagens comparativas entre as representações contínua e por estágios	36
Quadro 5 – Descrição e significado da representação contínua	41
Quadro 6 – Descrição e significado da representação por estágios	42
Quadro 7 – Exemplos de métricas	46
Quadro 8 – Perfil dos entrevistados do presente trabalho	57
Quadro 9 - Evidência de atendimento do processo de verificação	65
Quadro 10 - Evidência de atendimento do processo de integração	66
Quadro 11 - Evidência de atendimento do processo de validação	67
Quadro 12 - Métricas propostas para cada área de processo	78

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEB	Agência Espacial Brasileira
BA	Bateria de Alimentação
BP	Bateria de Pirotécnicos
CAD	Computer-Aided Design
CAR	Causal Analysis and Resolution
CIP	Conector de Interface Pirotécnica
CM	Configuration Management
CMMI	Capability Maturity Model Integration
COTS	Commercial Off-The-Shelf
CP	Condição Passiva
CTQ	Controle Total da Qualidade
DAR	Decision Analysis and Resolution
DOD	Department Of Defense
DS	Dispositivo de Segurança
ECSS	European Cooperation on Space Standardization
EI	Electric Initiators
EMC	Energy Module Commutation
ESA	European Space Agency
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
GP	Garantia do Produto
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
IAQG	International Aerospace Quality Group
ICD	Interface Control Document
IDEF0	Integration Definition for Function Modeling
IFI	Instituto de Fomento e Coordenação Industrial
INCOSE	International Council on System Engineering
IPM	Integrated Project Management
IPPD	Integrated Product and Process Development
ISO	International Organization for Standardization
M-02	Voltímetro
MA	Measurement and Analysis
MCE	Módulo de Comutação de Energia
MIP	Main Inspection Points
MNC	Material Não Conforme
MTBF	Mean Time Between Failures
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIST	National Institute of Standards and Technologies
OID	Organizational Innovation and Deployment
OPD	Organizational Process Definition
OPF	Organizational Process Focus
OPP	Organizational Process Performance
OT	Organizational Training
PI	Product Integration
PIR	Propulsor de Indução de Rolamento

PMC	Project Monitoring and Control
PN	Part Number
PNQ	Prêmio Nacional da Qualidade
PP	Project Planning
PQPA	Process and Product Quality Assurance
QFD	Quality Function Deployment
QPM	Quantitative Project Management
RD	Requirements Development
REQM	Requirements Management
RH	Recursos Humanos
RIPP	Roteiro de Inspeção de Peças Primárias
RSA	Relay Safety A
RSB	Relay Safety B
RSKM	Risk Management
SAD	Safety Arm Device
SAM	Supplier Agreement Management
SG	Specific Goals
SGQ	Sistemas de Gestão da Qualidade
SIR	Sistema de Indução de Rolamento
SN	Serial Number
SP	Specific Practices
SSE	Subsistema de Suprimento de Energia
TBD	To Be Defined
TS	Technical Solution
USAF	United States Air Force
VAL	Validation
VER	Verification
VLS	Veículo Lançador de Satélites
VS-40	Veículo de Sondagem VS-40
VS-30	Veículo de Sondagem "Booster" - 30

LISTA DE ABREVIATURAS

c.	componente
comp.	componente
conect.	conector
dimens.	dimensional
disp.	disponibilidade
equip.	equipamento
ext.	externo
funcion.	funcionamento
int.	interno
integr.	integração
mod.	módulo
p.	plano
p/	para
reg.	regras
reutil.	reutilização
seg.	segurança

LISTA DE SÍMBOLOS

°	graus
m	metro
km	quilômetro
g	aceleração da gravidade na altitude H
°C	temperatura Celsius (centígrada)
%	porcentagem
s	segundo
kg	quilograma
V	Volt
N	Newton
I	corrente elétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa do trabalho	18
1.2 Objetivos e delimitação do trabalho	19
1.3 Contribuições	20
1.4 Estrutura do trabalho	20
2 SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE	22
3 ENGENHARIA DE SISTEMAS	25
3.1 Sistemas	26
3.2 O que é engenharia de sistemas	26
3.3 Modelos de ciclo de vida para desenvolvimento	28
3.4 A qualidade na engenharia de sistemas	31
3.5 A abordagem de engenharia de sistemas para sistemas de gestão da qualidade	33
4 MODELO INTEGRADO DE CAPABILIDADE E MATURIDADE (CMMI®)	35
4.1 Níveis de capacidade	40
4.2 Níveis de maturidade	41
4.3 Modelo de ciclo de desenvolvimento do CMMI®	43
5 MÉTRICAS	46
6 A FERRAMENTA IDEF0	49
6.1 Sintaxe do IDEF0	51
6.2 Diagramas IDEF0	53
6.2.1 Tipos de diagramas	53
6.2.2 Contexto do diagrama macro	53
6.2.3 Diagrama filho	54
7 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	55
7.1 Classificação da pesquisa	55
7.2 Descrição do método de pesquisa utilizado	55
8 O PROCESSO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS DO VSB-30	59
9 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	64
9.1 Análise do processo de verificação	64
9.2 Análise do processo de integração de produtos	66

9.3 Análise do processo de validação	67
9.4 Análise do refinamento dos mapeamentos	67
9.5 Análise dos processos que não atenderam ao modelo CMMI	68
9.5.1 Mapeamento do processo de desenvolvimento de requisitos	68
9.5.2 Mapeamento do processo de gerenciamento de requisitos	72
9.5.3 Mapeamento do processo de soluções técnicas	74
9.6 Derivação de métricas	77
9.7 Análises de maturidade e capacidade	79
9.7.1 Análise de capacidade	79
9.7.2 Análise de maturidade	80
10 CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE A - Diagramas IDEF0 das áreas de processos de Verificação, Integração e Validação	88
ANEXO A - Áreas dos processos de engenharia do CMMI	103
ANEXO B - Regras gerais para diagramas IDEF0	138
ANEXO C - Conceitos de metodologia, processos, métodos e ferramentas	141

1 INTRODUÇÃO

O relatório de investigação do acidente de Alcântara-MA (2003) com o terceiro protótipo do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1 V03) resultou na recomendação para o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), que é a organização aeroespacial executora do desenvolvimento de projetos de foguetes de sondagem e veículos lançadores de satélites, a adoção de normas para a garantia da qualidade, para o gerenciamento de projetos e para procedimentos de certificação; entre elas, a estruturação de um programa e garantia do produto de sistemas espaciais (NBR 14857) e o modelo para a garantia da qualidade em projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados (NBR 15100) (BRASIL, 2004).

Além da recomendação para adoção de normas, o relatório de investigação do VLS apontou recomendações específicas como:

- a incorporação de revisões preliminares e críticas de projeto nos planos de desenvolvimento de produtos;
- um melhor intercâmbio de informações entre as organizações participantes;
- o aperfeiçoamento da gestão da qualidade;
- um melhor gerenciamento de documentação (registro, controle e recuperação de documentos);
- uma melhor comunicação entre funcionários;
- o gerenciamento de riscos relativos à segurança de centros de lançamento principalmente na condução de atividades de integração e preparação para o lançamento.

Para a Agência Espacial Brasileira (AEB) a responsabilidade pelo desenvolvimento de sistemas complexos requer que as empresas executoras possuam a competência de engenharia de sistemas para o fornecimento de equipamentos e subsistemas para os foguetes e satélites, o que promove o desenvolvimento de tecnologias críticas, como câmaras de alta resolução de satélites, e conseqüentemente qualifica a indústria nacional e amadurece programas de melhoria da qualidade, normalização e certificação de produtos espaciais (CARVALHO, 2006).

É importante enfatizar que o Veículo de Sondagem VSB-30 foi certificado em outubro de 2009 pelo Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI) e o IAE possui um sistema de gestão de qualidade aeroespacial implantado (FELICIO, 2008).

Segundo Niwa e Munaretto (2007), uma seqüência de falhas em lançamentos de aeronaves espaciais de programas conduzidos pela *United States Air Force (USAF)* e *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* resultou na decisão de se adotar políticas e instruções para organizar a certificação aplicável para todo o ciclo de vida de um projeto espacial. Em ambos os casos, o conceito de sistemas foi utilizado de acordo com abordagens de engenharia de sistemas, as quais podem ser encontradas, por exemplo, em referências fornecidas por estas duas organizações, denominadas *NASA Systems Engineering Handbook* (NASA, 2007) e *SMC Systems Engineering Primer and Handbook* (USAF, 2005).

O *Department of Defense (DOD)* dos Estados Unidos da América define engenharia de sistemas como uma abordagem que traduz as necessidades operacionais e requisitos em blocos de sistemas ajustados operacionalmente. A abordagem deve consistir em um processo de análise de requisitos interativa, de cima para baixo, alocação e análise funcional, síntese do projeto e verificação, e análise de sistema e controle. Deve permear o projeto, a manufatura, ensaios e avaliações, e apoio ao produto. Os princípios devem influenciar o equilíbrio entre desempenho, risco, custo e tempo de desenvolvimento (DOD, 2002 apud BLANCHARD, 2008).

Porém, a abordagem de processos do ciclo de vida de um produto é parcialmente aplicada na engenharia de sistemas em organizações como a *NASA*, *European Space Agency (ESA)* e *USAF*, e está orientada ao produto e suas especificações técnicas (WIENDL, 2009).

Para garantir que veículos espaciais fossem produzidos com tecnologias e processos estáveis, evitando a proliferação de falhas, Fortescue e Stark e Swinerd (2003) afirmam que o processo de qualificação de sistemas espaciais fosse concebido, pois, segundo os autores, a crescente demanda de requisitos para que o próximo veículo tivesse um tempo de produção menor, melhor desempenho e que fosse mais barato (*faster, better, cheaper*), aliado à redução de apoio governamental, resultou na proliferação de tecnologias “comercialmente avançadas” (itens de prateleira) usadas para atender custo e cronograma, porém sem um processo de qualificação.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Considerando a recomendação no relatório de investigação para incorporação de revisões de projeto e gerenciamento de riscos no desenvolvimento de produtos, a utilização de abordagem

de processos na engenharia de sistemas e as falhas de programas espaciais estrangeiros com suas recomendações de melhoria; o presente trabalho justifica-se pela adoção do modelo de referência de melhoria de processos, denominado *Capability Maturity Model Integration* (CMMI), para a área de engenharia de sistemas, composta pelos processos de desenvolvimento e gerenciamento de requisitos, soluções técnicas, verificação, integração de produtos e validação.

Este modelo permite também que sejam analisadas a capacidade dos processos citados acima, bem como a maturidade da organização executora do produto (IAE), aperfeiçoando a gestão da qualidade da organização.

Como ferramentas de análise, utiliza-se o conceito de métricas, que permite o gerenciamento quantitativo da organização, assim como entrevistas com especialistas do IAE e IFI para que os processos tornem-se explícitos e permitam uma análise completa do presente trabalho.

Propõe-se também, considerando as recomendações do relatório de investigação para um melhor intercâmbio de informações entre organizações e entre funcionários, bem como melhor gerenciamento da documentação; a aplicação da ferramenta *Integration Definition for Function Modeling* (IDEF0) nos processos citados acima para permitir uma análise interativa entre diversos níveis (subprocessos) tendo como benefícios a identificação de documentação durante o ciclo de vida do produto, fluxos de informações que permitem a comunicação entre pessoas de processos diferentes, elementos gráficos que auxiliam no gerenciamento quantitativo e qualitativo dos processos, e gerenciamento de recursos dos processos.

Portanto, as recomendações do relatório de investigação do acidente do VLS e melhorias propostas pelos programas espaciais estrangeiros em conjunto com as boas práticas apontadas nas entrevistas e ferramentas, como CMMI e IDEF0, são os elementos para avaliação do VSB-30 e do IAE.

1.2 OBJETIVOS E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está delimitado a um veículo de sondagem de dois estágios (VSB-30) desenvolvido pelo IAE.

O objetivo do trabalho é analisar os processos de gerenciamento e desenvolvimento de requisitos, soluções técnicas, verificação, integração e validação usando a ferramenta IDEF0

aplicada ao modelo CMMI em uma organização brasileira de desenvolvimento de um veículo de sondagem de dois estágios (VSB-30).

Apresentam-se como objetivos específicos:

- mapear os processos existentes de engenharia do VSB-30 utilizando a ferramenta IDEF0;
- comparar os processos mapeados com o modelo CMMI e analisar os mesmos utilizando a ferramenta IDEF0;
- propor métricas para os processos de forma a torná-los parte de um sistema gerenciado quantitativamente.

1.3 CONTRIBUIÇÕES

O presente trabalho visa então contribuir para as atividades espaciais do Brasil com a proposta de incentivar a utilização da abordagem de processos no ciclo de vida do produto, o aprimoramento da qualidade, o aprimoramento sistemático de desenvolvimento de sistemas complexos e o atendimento às normas sobre garantia da qualidade e ciclo de vida de programas espaciais.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre a maturidade em sistemas de gestão da qualidade.

O Capítulo 3 faz a revisão bibliográfica sobre a definição de sistemas, conceitos de engenharia de sistemas, modelos de ciclo de vida para desenvolvimento de produtos, a importância da qualidade na engenharia de sistemas e a abordagem de engenharia de sistemas aplicada em sistemas de gestão da qualidade.

O Capítulo 4 apresenta a revisão bibliográfica sobre o modelo integrado de capacidade e maturidade, e suas áreas de processos relativas à engenharia de sistemas.

O Capítulo 5 aborda a definição e utilização de métricas.

No Capítulo 6 é apresentada a ferramenta IDEF0, sua sintaxe e os diagramas são ilustrados.

O Capítulo 7 aborda o procedimento metodológico utilizado, constituído da classificação da pesquisa e a descrição do método utilizado.

O Capítulo 8 está estruturado por meio do mapeamento dos processos e subprocessos estabelecidos da engenharia de sistemas do veículo de sondagem VSB-30 com a utilização da ferramenta IDEF0.

O Capítulo 9 apresenta a discussão dos resultados obtidos, comparando-se os processos atuais mapeados com o modelo da área de engenharia proposto, CMMI, e o mapeamento proposto dos processos que não atendem em sua plenitude aos requisitos do modelo, as propostas de métricas para cada área de processo e as análises de maturidade e capacidade.

Finalmente, no Capítulo 10, são apresentados os comentários, recomendações e conclusões com relação ao atendimento dos objetivos específicos e geral, bem como as contribuições do presente trabalho para a indústria espacial e sugestões para trabalhos futuros.

2 SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE

Abordagem de maturidade tem suas raízes no campo da gestão da qualidade. Um dos introdutores foi Crosby (1986) com sua Matriz de Gestão da Qualidade, a qual descreve um comportamento típico exibido por uma empresa em cinco níveis de ‘maturidade’, para cada um dos seis aspectos da gestão da qualidade (Quadro1).

Quadro 1 – Matriz de Maturidade de Gestão da Qualidade segundo Crosby

Categorias de medição	Estágio I: Incerteza	Estágio II: Despertar	Estágio III: Esclarecimento	Estágio IV: Sabedoria	Estágio V: Certeza
Atitude e compreensão gerencial	Sem compreensão da qualidade como uma ferramenta gerencial. Tendência de culpar o departamento da qualidade pelos ‘problemas de qualidade’.	Reconhecimento de que a gestão da qualidade tem valor, mas sem disposição de fornecer dinheiro e tempo necessários.	Enquanto vai de encontro ao programa de melhoria da qualidade, aprende mais sobre gerenciamento da qualidade, tornando-se um facilitador e apoiador.	Participativo. Entendimento absoluto da gestão da qualidade. Reconhece suas funções pessoais com ênfase contínua.	Considera a gestão da qualidade como parte essencial do sistema da companhia.
Status da qualidade da organização	A qualidade está inserida na fabricação ou departamento de engenharia. Ênfase na avaliação e classificação.	Um líder da qualidade é designado, mas a principal ênfase ainda está na avaliação e operação do produto.	O departamento da qualidade relata à alta direção; todas as avaliações são incorporadas e o gerente tem a função na administração da companhia.	O gerente da qualidade é um executivo; status efetivo relatado e ação preventiva. Envolvido com os negócios do cliente e atribuições especiais.	Gerente da qualidade integrado com os diretores. Prevenção é a preocupação principal. Qualidade é um pensamento prioritário.
Resolução de problemas	Os problemas são tratados quando ocorrem, sem soluções; definição inadequada.	Equipes são estabelecidas para atacar os principais problemas. Soluções a longo prazo não são solicitadas.	Comunicação de ações corretivas determinadas. Os problemas são enfrentados abertamente e resolvidos de uma maneira sistemática.	Os problemas são identificados previamente no desenvolvimento. Todas as funções estão abertas a sugestões e melhorias.	Exceto em casos específicos, os problemas são preventivos.
Custo da qualidade por % de vendas	Desconhecido. Real: 20%.	Divulgada: 3%. Real: 18%.	Divulgada: 8%. Real: 12%.	Divulgada: 6,5%. Real: 8%.	Divulgada: 2,5%. Real: 2,5%.
Ações de melhoria da qualidade	Sem atividades organizadas e sem compreensão de tais atividades.	Tentativas de esforços motivacionais óbvios de curto prazo.	Implementação do programa dos 14 passos de Crosby com perfeito entendimento e estabelecimento de cada passo.	Continuidade do programa dos 14 passos de Crosby e começando a “Fazer Certo”.	Melhoria da qualidade é uma atividade normal e contínua.
Argumentos da postura da qualidade da empresa	"Nós não sabemos porque temos problemas com a qualidade."	"É necessário ter sempre problemas com a qualidade ?"	"Por meio do comprometimento da gerência e melhoria da qualidade nós estamos identificando e resolvendo nossos problemas."	"Prevenção de defeitos é parte da rotina de nossas operações."	"Nós sabemos porque não temos problemas com a qualidade."

Fonte: CROSBY (1986) adaptado

A matriz tinha um tema evolucionário forte, sugerindo que as empresas passariam provavelmente por todas as cinco fases – Incerteza, Despertar, Esclarecimento, Sabedoria e Certeza – em busca da excelência na gestão da qualidade.

A abordagem de maturidade também é referenciada na NBR ISO 9004 (ABNT, 2000). O objetivo é avaliar o sistema de gestão da qualidade para cada seção principal da norma,

usando uma escala de 1 (sem sistema formal) até 5 (o melhor desempenho da classe), conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Níveis de maturidade de desempenho

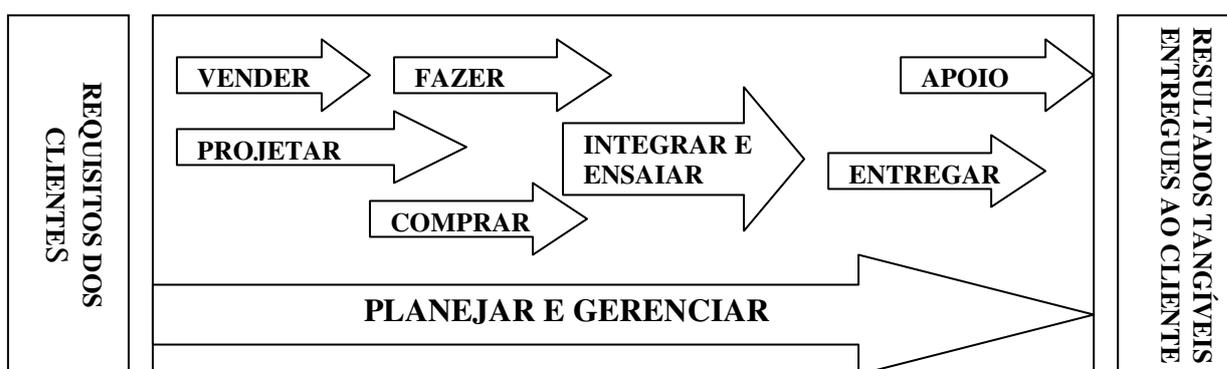
Nível de maturidade	Nível de desempenho	Orientações
1	Nenhuma abordagem formal.	Nenhuma abordagem sistêmica evidenciada, nenhum resultado, resultados pobres ou resultados imprevisíveis.
2	Abordagem reativa.	Abordagem sistemática baseada em correção de problemas; poucos dados disponíveis sobre resultados de melhorias.
3	Abordagem estável e formal do sistema.	Abordagem sistemática baseada no processo; estágio inicial de melhorias sistemáticas; dados disponíveis sobre conformidade com os objetivos e existência de tendências de melhoria.
4	Ênfase em melhoria contínua.	Processos de melhoria em uso, bons resultados e tendências de melhorias sustentadas.
5	Desempenho melhor da classe.	Processo de melhoria fortemente integrado; resultados de melhor da classe quando comparado com referenciais de excelência.

Fonte: ABNT (2000)

Outra vantagem desta abordagem é que resultados monitorados ao longo do tempo podem ser utilizados para avaliar a maturidade de uma organização.

O IAQG (2009) estabeleceu um manual de gerenciamento da cadeia de suprimentos do setor aeroespacial (espaço, aviação e defesa) para aplicação em melhoria de sistemas de gestão da qualidade, cujo objetivo é estabelecer avaliações comuns da maturidade da cadeia de suprimentos para obter os objetivos sustentáveis de entrega a tempo e com qualidade.

Independente do tipo de área (produção seriada, produção sob encomenda, projetos ou serviços de apoio ao cliente), o processo para entrega ao cliente final é o mesmo, como mostra a Figura 1 abaixo:



Fonte: IAQG (2009)

Figura 1 – Cadeia de suprimentos

Este conceito está concentrado em todos os estágios da vida do programa para identificar riscos, e áreas de melhoria e desenvolvimento de fornecedores. O modelo está definido e contém 5 níveis:

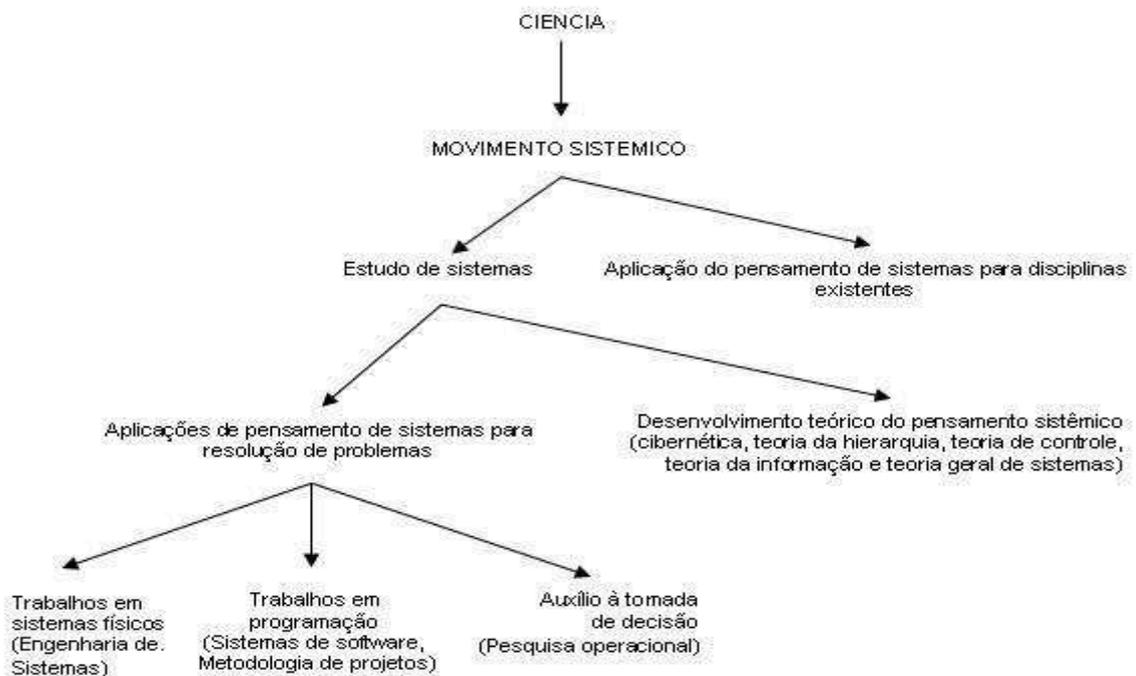
- 1- Indefinido e incapaz (nenhum processo; método, ferramentas e/ou comportamentos desapropriados);
- 2- Definido e aplicado: mas não 100% eficiente ou não aplicado em qualquer lugar da empresa (capaz para produtos e serviços de baixo risco);
- 3- Definido, aplicado e eficaz: capacidade de desempenho satisfatório e repetitivo;
- 4- Preditivo: desempenho de melhorias proativas para alvos planejados, mas não sistematicamente para todos os processo/áreas/produtos; e,
- 5- Otimizado: melhor em sua classe, melhoria contínua implementada completamente e envolvimento de todas as partes interessadas como parte da cultura da companhia (IAQG, 2009).

3 ENGENHARIA DE SISTEMAS

A teoria geral dos sistemas é uma ciência geral da totalidade, uma disciplina lógico-matemática, formal, mas aplicável a várias ciências empíricas como, por exemplo, a teoria da informação, a cibernética, a teoria dos jogos, as teorias da decisão e das redes, os modelos estocásticos e a pesquisa operacional (BERTALANFFY, 2008).

Enquanto a teoria dos sistemas tem o caráter de ciência básica, encontra seu correlato na ciência aplicada e está ligado à moderna automação, distinguindo os seguintes campos: engenharia de sistemas (planejamento, traçado, evolução e construção científicos de sistemas homem-máquina), pesquisa operacional (controle científico dos sistemas existentes, constituídos por homens, máquinas, materiais, dinheiro, etc.) e engenharia humana (adaptação científica dos sistemas e especialmente das máquinas a fim de obter a máxima ciência com o mínimo custo em dinheiro e outras despesas) (BERTALANFFY, 2008).

Portanto, para Bertalanffy (2008), o interesse teórico da engenharia de sistemas reside no fato das entidades cujos componentes são muito heterogêneos poderem ser submetidos com êxito à análise dos sistemas. A engenharia de sistemas emprega a metodologia da cibernética, da teoria da informação, a análise das redes, os fluxogramas, os diagramas de bloco, etc. A Figura 2 mostra as diversas ciências que se utilizam do movimento sistêmico.



Fonte: Mason-Jones e Berry e Nain (1998)

Figura 2 - Áreas de atividade do movimento sistêmico

3.1 SISTEMAS

Diversas organizações definem sistema, de maneira similar, como um conjunto de elementos que se interagem e se inter-relacionam para satisfazer uma necessidade declarada, um objetivo ou um propósito comum (DOD, 2001; ABNT, 2005; U.S. AIR FORCE, 2005; NASA, 2007). Este conjunto não deve atuar isoladamente, ou por todos os elementos sem uma organização (U.S. AIR FORCE, 2005; BLANCHARD, 2008).

Os elementos podem incluir pessoas, *hardware*, *software*, locais, políticas, processos e documentos; ou seja, tudo o que é necessário para produzir resultados em nível de sistema (NASA, 2009; BLANCHARD, 2008).

Para Blanchard (2008), os resultados incluem qualidades, propriedades, características, funções, comportamento e desempenho. No sistema, devem ser considerados 4 princípios:

- 1) deve constituir-se de uma combinação complexa de recursos (materiais, humanos, financeiros, etc.) de maneira efetiva;
- 2) deve estar inserido dentro de alguma forma de hierarquia. Um avião pode estar incluído dentro de uma companhia aérea, que por sua vez é parte de um sistema de transporte global e que opera em um ambiente geográfico específico, que é parte do mundo e assim por diante;
- 3) pode ser estruturado em subsistemas e componentes relacionados, pois permite uma abordagem mais simples quando se estabelece a determinação de requisitos, e subsequente análise do sistema e suas interfaces funcionais, para depois interagir novamente como um sistema;
- 4) deve ter um propósito; ser funcional, capaz de responder a uma necessidade identificada e obter um objetivo global a custo efetivo.

A NASA (2007) ainda define sistema como um produto final, que desempenha funções operacionais, e habilita produtos, que fornecem serviços de apoio por todo ciclo de vida para produtos finais, que por sua vez, moldam o sistema.

3.2 O QUE É ENGENHARIA DE SISTEMAS

Stevens *et al* (1998) considera engenharia de sistemas como uma atividade criativa que define requisitos e produto a ser construído, criando soluções eficazes para problemas e gerenciando a complexidade técnica de desenvolvimentos.

Engenharia de sistemas considera tanto as necessidades técnicas quanto de negócios para todos os clientes com a meta de fornecer produtos de qualidade que satisfaçam as necessidades dos usuários. É uma abordagem multidisciplinar colaborativa de engenharia para derivar, desenvolver e verificar uma solução sistema balanceada ao longo do ciclo de vida e que atenda às expectativas dos *stakeholders* (LOUREIRO, 1999).

Segundo Fortescue e Stark e Swinerd (2003), a engenharia de sistemas garante que todos os aspectos de um projeto foram considerados e integrados de uma maneira consistente, e é baseada no princípio de que não existe somente uma solução para atender aos objetivos. Algumas são melhores que outras, baseado na discriminação de parâmetros, como por exemplo, custo, massa ou alguma medida de desempenho de sistema. O problema é balancear estas avaliações desconexas em uma solução simples.

De uma maneira bem simples, a *U.S. Air Force* (2005) define como a engenharia de um sistema, ou seja, a aplicação da ciência para projetar um sistema.

A *International Council on Systems Engineering* (INCOSE) (2007 apud BLANCHARD, 2008) define engenharia de sistemas como uma abordagem interdisciplinar e significa habilitar com sucesso a realização de um sistema. Tem o foco na definição das necessidades dos clientes e requisitos funcionais o mais cedo possível do ciclo de desenvolvimento, documentando os requisitos e então procedendo com a síntese do projeto e validação do sistema, enquanto considera o problema por completo.

Blanchard (2008) prefere como uma aplicação de esforços científicos e de engenharia para:

- transformar uma necessidade operacional em uma descrição dos parâmetros de desempenho e configuração de sistema por meio do uso de um processo iterativo de definição, síntese, análise, projeto, ensaio, avaliação e validação;
- integrar parâmetros técnicos relacionados e garantir a compatibilidade de todas as interfaces físicas, funcionais e de programas de uma maneira a aperfeiçoar a definição total do projeto;
- integrar confiabilidade, manutenabilidade, ergonomia, segurança, produtividade, apoio (serviços associados), disponibilidade e outros fatores em um esforço total de engenharia para atender aos objetivos de custo, tempo e desempenho técnico.

É uma disciplina holística e integrativa, onde a contribuição de engenheiros de estruturas, elétricos, projetistas de mecanismos, engenheiros de potência e muitas outras disciplinas são

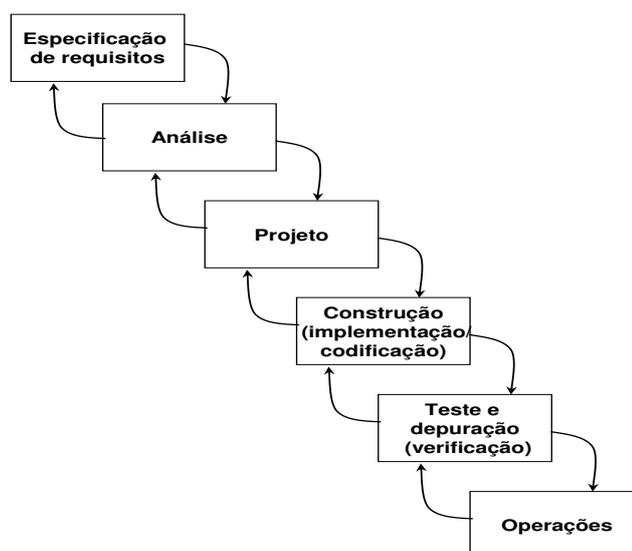
avaliadas e balanceadas, uma contra a outra, para produzir um todo coerente que não é dominado por uma perspectiva de uma disciplina. Procura um projeto seguro e balanceado para enfrentar interesses opostos e múltiplos, algumas vezes restrições conflitantes (NASA, 2007).

3.3 MODELOS DE CICLO DE VIDA PARA DESENVOLVIMENTO

Uma empresa responsabiliza-se pelo processo de ciclo de vida de um produto que entrega ao cliente, considerando as seguintes fases (VALERIANO, 2001): identificação de necessidades do mercado; identificação dos produtos e serviços; definição de requisitos funcionais e de desempenho; atribuição de requisitos físicos e funcionais, e suas verificações; materialização do sistema; utilização do produto pelo cliente e sistema de apoio (serviços) e, finalmente, a fase de declínio, que justifique a retirada do produto ou serviço.

Segundo Estefan (2008), existe uma quantidade grande de modelos utilizados no desenvolvimento do ciclo de vida de sistemas e *software*, mas três deles se destacam: (1) o modelo em ‘cascata’ de Royce (1970 apud ESTEFAN, 2008), (2) o modelo em ‘V’ de Boehm (1988 apud ESTEFAN, 2008) e, (3) o modelo em ‘espiral’ de Forsberg e Mooz (1992, 1995 apud ESTEFAN, 2008).

O modelo em cascata, conforme Figura 3, é provavelmente o mais antigo e usado.



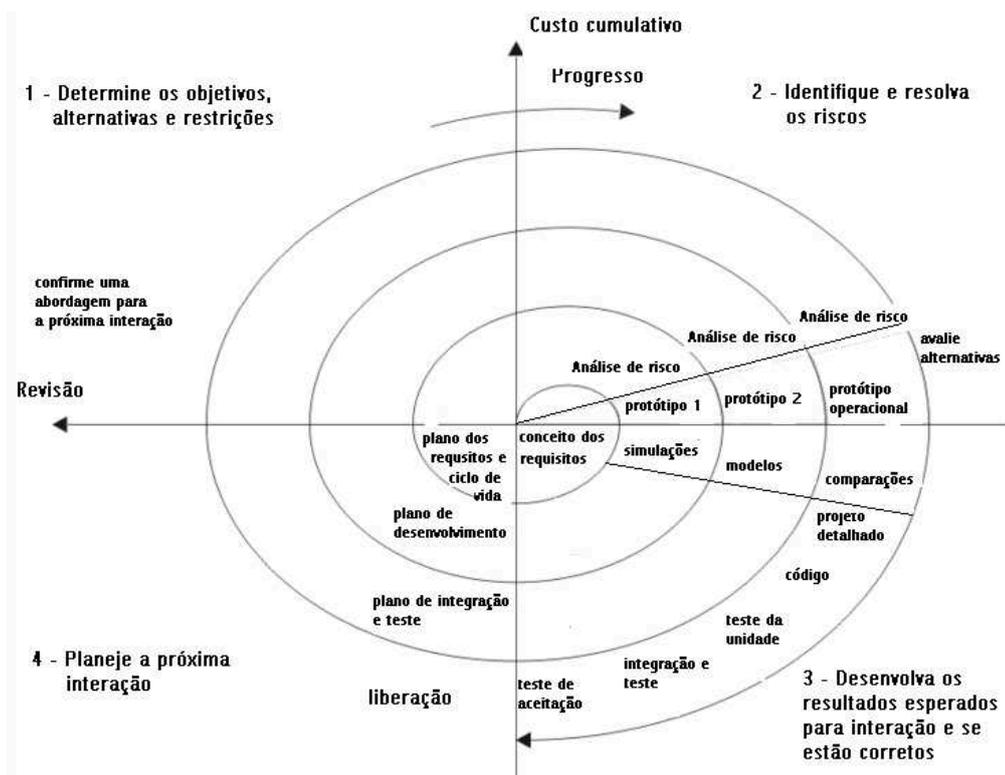
Fonte: Estefan (2008)

Figura 3 – Modelo de desenvolvimento de ciclo de vida em ‘cascata’

O modelo acima está baseado numa abordagem de cima para baixo e incluem passos de iniciação, análise de requisitos, projetos, testes e assim por diante. Os passos são vistos como independentes um do outro, eram executados em uma seqüência restrita e os efeitos não eram retornados. Além disso, as interfaces requeridas com outros elementos do sistema (*hardware*, fator humano, local, dados, etc.) não eram consideradas (BLANCHARD, 2008).

De acordo com *U.S. Air Force* (2005), duas das principais deficiências foram reconhecidas no modelo em cascata. Primeira, a característica de evolução seqüencial inclui atividades de desenvolvimento que só permitem interações entre fases adjacentes. Segunda, a interação entre as fases são demoradas, o que tende a estender o período entre a declaração das necessidades do usuário e a produção do sistema.

Barry Boehm introduziu o modelo de desenvolvimento espiral em 1986 para diminuir o ciclo de vida de desenvolvimento de *software*, representado de uma maneira adaptada, conforme Figura 4 (U.S. AIR FORCE, 2005).



Fonte: Estefan (2008)

Figura 4 – Modelo de desenvolvimento de ciclo de vida em 'espiral'

Neste método, o analista examina continuamente os objetivos, estratégias, alternativas de projeto e métodos de validação. O desenvolvimento do sistema é resultado de muitas interações. A prototipagem rápida é usada em cada ciclo e o modelo dá ênfase à análise de

riscos. Esta abordagem é particularmente útil em desenvolvimentos de alto risco porque o projeto às vezes desenvolve-se com o surgimento de requisitos detalhados (BLANCHARD, 2008).

Portanto, para a U.S. Air Force (2005), a ênfase está na análise de risco e não em um processo documentado ou codificado.

A espiral aplica-se igualmente em novos desenvolvimentos como em melhorias e atualizações. Possui 4 fases. Inicia-se pelo primeiro quadrante no sentido horário: determine os objetivos, alternativas e restrições; identifique e resolva os riscos; desenvolva e verifique o desenvolvimento e produtos; e planeje a próxima fase (U.S. AIR FORCE, 2005).

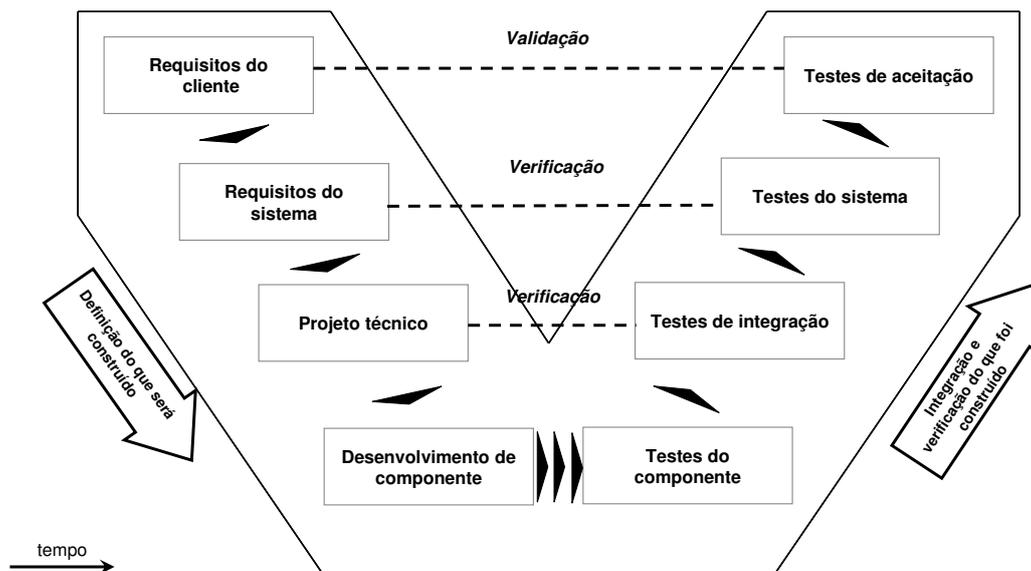
Na primeira fase, as partes interessadas determinam os objetivos de desempenho e possibilidades de atualizações. Identificam-se restrições de custo, cronograma, segurança, ambientais, entre outras, que se aplicam a cada uma das alternativas em análise. Os objetivos e restrições fornecem uma base para os requisitos (U.S. AIR FORCE, 2005).

As considerações de Boelm sobre riscos distinguem-se do restante. Ele cita numerosas técnicas de mitigação ou resolução de riscos tais como prototipagem, simulação, comparações, verificação de referências, questionários de usuários e modelagem analítica. Isto inclui atividades de *mock-up* (modelo de um novo produto para teste ou exibição para clientes) e prototipagem (U.S. AIR FORCE, 2005).

O esforço de prototipagem é usado inicialmente para concepção de provação, e apóia os usuários ou operadores para definirem seus requisitos. Evoluções subseqüentes da espiral apóiam a prototipagem de projetos detalhados e, finalmente, de projetos operacionais. A prototipagem rápida, que não é um elemento do modelo, tem a intenção de produzir parcialmente os *mock-ups* ou protótipos operacionais em uma fase antecipada do projeto, iniciada durante a fase preliminar do projeto (U.S. AIR FORCE, 2005).

A fase de desenvolvimento e verificação tem elementos incluídos no modelo em cascata: requisitos, projeto, códigos, integração e testes. Para o modelo espiral esta fase é revista 4 vezes. Planejamento, avaliações alternativas e análise de risco são desempenhadas cada vez, precedidas pelo desenvolvimento e validação de requisitos, projeto preliminar do produto e projeto detalhado (U.S. AIR FORCE, 2005).

O modelo em 'V' da Figura 5 reflete, conforme expõe Blanchard (2008), uma abordagem de cima para baixo e de baixo para cima para o desenvolvimento de sistemas.



Fonte: adaptado de STEVENS *et al.* (1998)

Figura 5 – Ó formato do diagrama em 'V' para um ciclo de vida.

O lado esquerdo do diagrama em V define o que deve ser construído; o lado direito constrói a partir dos componentes e verifica os produtos finais contra as especificações do lado esquerdo. Informações fornecidas para componentes específicos são a base dos testes daqueles componentes durante o estágio de integração. Componentes são aceitos, integrados e verificados até serem formados em um sistema completo e testado. Quanto melhor o trabalho do lado esquerdo é feito, mais fácil é o trabalho do lado direito. A validação é considerada como uma verificação que mostra que o sistema atende os requisitos dos usuários sob condições operacionais (STEVENS *et al.*, 1998).

3.4 A QUALIDADE NA ENGENHARIA DE SISTEMAS

Segundo Garvin (1987), qualidade inclui os esforços despendidos no ciclo de vida de um produto considerando-se as despesas com serviços e manutenção e, portanto, não está apenas no processo produtivo, no método de trabalho, no produto em si ou atendimento no momento da compra do produto. Todo um conjunto de processos deve ser determinado para que as necessidades e requisitos dos clientes sejam atendidos.

Thompson (1999) argumenta que há pouca atenção aos projetos de sistema de gestão da qualidade, que envolvam processos organizacionais de negócios em que o sistema de gestão

da qualidade está alinhado com as necessidades do negócio, e indica a necessidade de uma abordagem de sistema.

A ABNT (2000) determina que as organizações assegurem o desempenho e funcionamento básico do projeto e desenvolvimento de produtos ou processos, durante o ciclo de vida dos mesmos, para atender as expectativas dos clientes.

A qualidade de produtos ou serviços é determinada pela extensão que atendem (ou excedem) os requisitos e satisfação dos clientes, a um custo favorável. Qualidade é um composto de atributos materiais, incluindo características de desempenho, produtos ou serviços, e que satisfazem os requisitos do cliente. A chave do sucesso é incorporar a qualidade do projeto/engenharia de sistemas no produto definindo os requisitos de qualidade de serviços e produto desde o começo. Um sistema de gestão da qualidade deve ser capaz de:

- monitorar, medir, analisar e melhorar processos;
- reduzir a variação do produto;
- medir e verificar a conformidade do produto;
- estabelecer mecanismos para realimentação de desempenho de produto em campo;
- implementar uma análise de causa-raíz e sistema de ação corretiva (DOD, 2004).

Segundo Blanchard (2008), a gestão da qualidade total pode ser descrita como uma abordagem gerencial totalmente integrada que endereça a qualidade do produto ou sistema durante todas as fases do ciclo de vida, em todos os níveis na cadeia hierárquica do sistema como um todo. Fornece uma orientação preventiva para a qualidade e é focada no projeto do sistema, nas atividades de desenvolvimento, na fabricação e produção, manutenção e apoio, e funções relacionadas. É um mecanismo de unificação que liga as capacidades humanas à engenharia, produção e processos de apoio.

A ênfase é a satisfação total do cliente, a prática interativa da melhoria contínua e uma abordagem organizacional integrada. Com relação ao projeto do sistema e esforço de desenvolvimento, destacam-se: (1) o projeto dos processos que será utilizado para fabricar e produzir componentes do sistema e, (2) o projeto da infra-estrutura de apoio que fornecerá uma manutenção contínua daquele sistema por todo o ciclo de vida planejado. Ou seja, os princípios da gestão da qualidade total devem estar inseridos dentro do processo de engenharia de sistemas (BLANCHARD, 2008).

3.5 A ABORDAGEM DE ENGENHARIA DE SISTEMAS PARA SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE

Para Feigenbaum (1988), o trabalho do Controle Total da Qualidade (CTQ) requer meios efetivos de integrar esforços por parte de um grande número de pessoas, com um grande número de máquinas e uma quantidade imensa de informações. Portanto, envolve questões de sistemas em proporções significativas, e uma abordagem de sistemas é parte integrante no CTQ. Requer a integração das ações da qualidade das pessoas, máquinas e informações em um forte sistema da qualidade total.

Um sistema da qualidade é uma combinação sobre estrutura de trabalho de operações por toda fábrica e organização, documentada em procedimentos gerenciais e técnicos integrados, para direcionar ações coordenadas das pessoas, máquinas e informações da melhor e mais prática forma, garantindo a satisfação da qualidade pelo cliente e custos da qualidade econômicos (FEIGENBAUM, 1988).

Engenharia de sistemas, segundo a abordagem de Feigenbaum (1988), é um processo tecnológico de criação e estruturação de sistemas da qualidade pessoas-máquinas-informações eficaz. A Engenharia de Sistemas proporciona o que pode ser pensado como a tecnologia de projeto fundamental do engenheiro da qualidade.

Portanto, Feigenbaum foi um dos pioneiros a definir a abordagem de engenharia de sistemas para a qualidade por meio de uma nova engenharia que estava surgindo: a teoria dos sistemas (WATSON, 2005).

A ABNT (2005) define Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ) como atividades organizadas para dirigir e controlar uma organização com relação à qualidade.

Segundo DiOrio (2003), um SGQ é uma série de processos inter-relacionados e os subsistemas podem ser vistos como processos de subsistema. O resultado é um programa de desenvolvimento baseado na abordagem de processo combinado com a metodologia da engenharia de sistemas. Para isto é necessário seguir 6 fases, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Fases da aplicação da engenharia de sistemas para qualidade

Fase	Atividades
1	Desenvolva a especificação do sistema.
2	Defina a configuração do sistema.
3	Desenvolva a especificação de subsistemas/componentes.
4	Desenvolva os subsistemas/componentes.
5	Monte e verifique o sistema.
6	Teste o sistema.

Fonte: (DiORIO, 2003)

A fase 1 já é especificada pelos requisitos de uma norma para SGQ.

A configuração do sistema (fase 2) é definida por meio de um diagrama, um esquema ou um layout que identifique todos os subsistemas (ou neste caso, processos) e suas interfaces.

A fase 3 pode ser abordada por meio de uma lista de verificação de requisitos para cada processo identificado no diagrama do SGQ.

O desenvolvimento de processos de subsistemas (fase 4) requer a formação de equipes de projeto. Isto é facilitado se as interfaces técnica e organizacional, assim como responsabilidades, são bem definidas. A equipe deve ser treinada na norma em questão e entender sobre as especificações dos seus processos (lista de requisitos). Somente então, deveriam definir os seus processos e comparar os resultados com a lista de verificação correspondente. Se alguns requisitos não são atendidos, a equipe deve aproveitar cada oportunidade para tornar o processo eficiente e eficaz. Quando o projeto do processo é aceito, é necessário documentá-lo e implementá-lo.

A fase 5 corresponde à implementação de cada processo de subsistema assim que o projeto e análise são revisados e aceitos. Isto significa treinar as pessoas em procedimentos e instruções novos e revisados, liberando documentos aplicáveis e começando a estabelecer práticas de auditoria para auditores internos e empregados.

Finalmente, a fase 6 compreende uma série de auditorias internas depois que todos os subsistemas se tornarem operacionais por um período de tempo. Quando completada a fase, a certificação da norma torna-se um exercício simples onde a melhoria contínua nada mais é do que um ajuste de um sistema eficiente e eficaz.

Gerkes (1998) também considerou a aplicação na garantia da qualidade baseado na condição de que a engenharia de sistemas era concebida como uma perfeição metodológica.

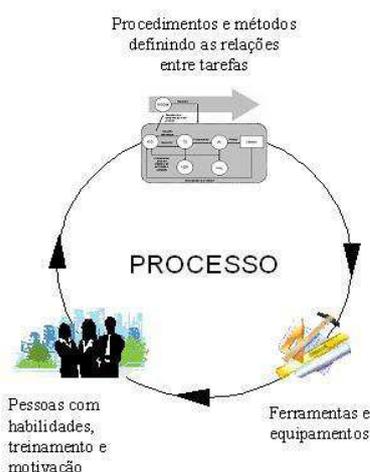
4 MODELO INTEGRADO DE CAPABILIDADE E MATURIDADE (CMMI®)

Hoje o mercado dispõe de modelos de maturidade, normas e diretrizes que podem ajudar as organizações a melhorar os negócios. Mas a maioria das abordagens de melhoria foca em uma parte específica do negócio, e não há uma abordagem de sistemas para os problemas enfrentados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Capability Maturity Model Integration (CMMI) consiste em práticas que focam o desenvolvimento e atividades de manutenção que cobrem o ciclo de vida desde a concepção até a entrega e manutenção. O CMMI é baseado no conceito de engenharia de sistemas, *software* e desenvolvimento de produtos, e é focado na melhoria de processos de uma organização; contém elementos essenciais de processos efetivos para uma ou mais disciplinas e descreve um caminho de evolução da melhoria desde processos imaturos, disciplinados, até processos maduros com qualidade e eficácia melhorados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As organizações devem ser hábeis em gerenciar e controlar este complexo processo de desenvolvimento e manutenção. O gerenciamento efetivo dos bens dos ativos de uma organização é crítico para o sucesso do negócio (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A Figura 6 ilustra 3 dimensões críticas que as organizações tipicamente focam: pessoas, procedimentos e métodos, e ferramentas e equipamentos.



Fonte: adaptado de PHILLIPS *et al.* (2006)

Figura 6 – As três dimensões críticas

Segundo Phillips *et al.* (2006), os processos permitem alinhar a forma como se faz negócios, permitindo crescimento e fornecendo uma maneira de incorporar conhecimento de como fazer

as coisas melhores, e também permitem alavancar recursos e examinar as tendências dos negócios.

Um foco em processos fornece uma infra-estrutura necessária para negociar com um mundo em plena mudança e maximizar a produtividade das pessoas, além do uso da tecnologia ser mais competitiva. Processos efetivos fornecem também um veículo de introdução e uso de novas tecnologias de maneira a atender da melhor forma os objetivos de negócios da organização (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Nos anos 30, Wallter Shewart começou a trabalhar em melhoria de processos com seus princípios de controle estatístico da qualidade. Estes princípios foram refinados por Deming, Crosby e Juran. Watts Humphrey, Ron Radice e outros estenderam estes princípios para futuras aplicações em *software* inseridos no modelo de maturidade e capacidade, com foco na melhoria de processos dentro da organização (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Para Phillips *et al.* (2006), o modelo permite abordar processos de melhoria e avaliações usando duas representações: a contínua e a por estágios. A representação contínua permite selecionar uma área de processo (ou grupo de processos) e melhorá-los, utilizando-se de níveis de capacidade relativos a uma área de processo específica.

A representação por estágios usa grupos de áreas de processos predefinidos para definir um caminho de melhoria para a organização. Cada nível de maturidade fornece um grupo de áreas de processos que caracterizam diferentes comportamentos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

O Quadro 4 compara as vantagens de cada representação e auxilia na determinação de qual representação é a mais adequada para a organização.

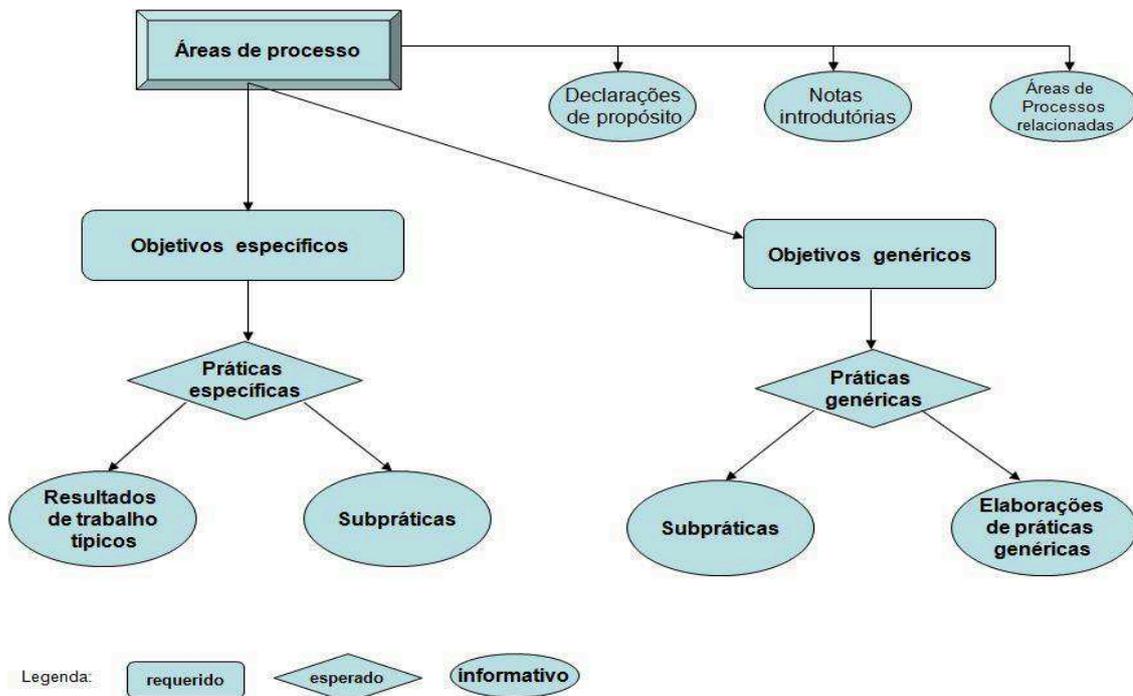
Quadro 4 – Vantagens comparativas entre as representações contínua e por estágio

Representação contínua	Representação por estágios
Liberdade para selecionar a ordem de melhoria que melhor atende aos objetivos de negócio da organização e diminui as áreas de risco da organização	Permite as organizações terem um caminho de melhoria demonstrado e predefinido.
Permite uma visibilidade crescente da capacidade obtida em cada área de processos.	Foca em um grupo de processos que fornecem uma organização com uma capacidade específica caracterizada por cada nível de maturidade.
Permite melhorias de diferentes processos a serem desempenhados em diferentes áreas.	Resume resultados de melhoria de processos em uma forma simples – um simples número de nível de maturidade.
Reflete uma nova abordagem que ainda não dispõe de dados para demonstrar o retorno do investimento.	Constitui um histórico de uso que inclui estudo de casos e dados que demonstram o retorno do investimento.

Fonte: adaptado de (PHILLIPS *et al.*, 2006)

Os componentes do modelo são agrupados em 3 categorias – requerido, esperado e informativo. A categoria requerida descreve o que uma organização deve obter para satisfazer uma área de processo e é composta por objetivos específicos e genéricos, que são avaliados para verificação da satisfação de atendimento aos requisitos. A categoria esperados descreve o que uma organização pode implementar para obter um componente requerido. Guiam avaliações de melhoria e desempenho. Incluem práticas específicas e genéricas. A categoria informativo fornece detalhes que ajudam a organização em começar a pensar sobre como abordar as categorias requeridos e esperados. Subpráticas, resultados típicos de trabalhos, ampliações, elaborações de práticas genéricas, notas e referências são exemplos de referência (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A Figura 7 mostra graficamente os componentes das áreas de processo.



Fonte: (PHILLIPS *et al.*, 2006)

Figura 7 – Componentes do modelo CMMI®

Existem 22 áreas de processos conforme relação abaixo (PHILLIPS *et al.*, 2006):

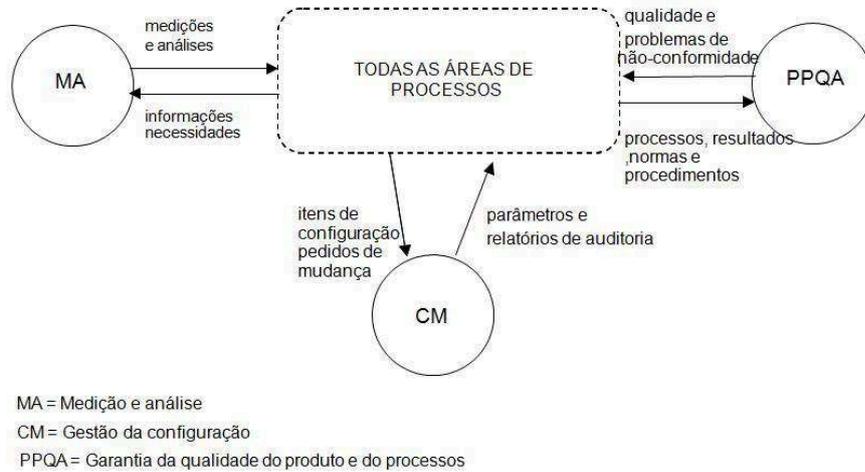
- 1) *Causal Analysis and Resolution* (CAR): Análise de Causa e Solução, cujo propósito é identificar causas, defeitos e outros problemas de tal forma que não ocorram novamente;
- 2) *Configuration Management* (CM): Gestão da Configuração, cujo propósito é estabelecer e manter a integridade dos produtos utilizando-se da identificação, controle, situação e auditoria da configuração;

- 3) *Decision Analysis and Resolution (DAR)*: Análise de Decisão e Solução, cujo propósito é analisar possíveis decisões utilizando um processo formal de avaliação que analise alternativas identificadas contra critérios estabelecidos;
- 4) *Integrated Project Management +IPPD (IPM+IPPD)*: Gestão Integrada de Projeto, cujo propósito é estabelecer e gerenciar o projeto e o envolvimento das partes interessadas de acordo com um processo integrado e definido sendo sob medida para um grupo de processos-padrão de organizações. Também cobre o estabelecimento de uma visão compartilhada para o projeto e o estabelecimento de equipes integradas que realizarão os objetivos do projeto;
- 5) *Measurement and Analysis (MA)*: Medição e Análise, cujo propósito é desenvolver e sustentar uma capacidade de medição usada para apoiar as necessidades de informações da organização;
- 6) *Organizational Innovation and Deployment (OID)*: Inovação e Mobilização Organizacional, cujo propósito é selecionar e mobilizar melhorias incrementais e inovadoras que melhorem mensuravelmente os processos e tecnologias da organização. As melhorias apóiam a qualidade e os objetivos de desempenho de processos da organização são derivados dos objetivos de negócios da organização;
- 7) *Organizational Process Definition +IPPD (OPD+IPPD)*: Definição do Processo Organizacional, cujo propósito é estabelecer e manter um grupo útil de ativos de processos da organização e trabalhar normas ambientais. Em adição, cobre o estabelecimento de regras organizacionais e diretrizes que habilitam a condução de trabalhos usando equipes integradas;
- 8) *Organizational Process Focus (OPF)*: Ênfase no Processo Organizacional, cujo propósito é planejar, implementar e mobilizar melhorias de processos organizacionais por meio de um entendimento completo sobre os pontos fortes e pontos fracos correntes dos processos da organização e dos ativos dos processos;
- 9) *Organizational Process Performance (OPP)*: Desempenho do Processo Organizacional, cujo propósito é estabelecer e manter um entendimento quantitativo do desempenho do grupo de normas de processos da organização em apoio aos objetivos de qualidade e de desempenho de processos, e fornecer os dados de desempenho de processos, referências e modelos para gerenciar quantitativamente os projetos da organização;
- 10) *Organizational Training (OT)*: Treinamento Organizacional, cujo propósito é desenvolver as habilidades e conhecimento das pessoas de tal forma que possam desempenhar suas funções efetivamente e eficientemente;
- 11) *Product Integration (PI)*: Integração do Produto, cujo propósito é montar o produto a partir de seus componentes garantindo que funcione apropriadamente, e entregar o produto;

- 12) *Project Monitoring and Control* (PMC): Monitoramento e Controle do Projeto, cujo propósito é o entendimento do progresso do projeto de tal forma que ações corretivas sejam tomadas quando o desempenho do projeto desvia significativamente do planejamento;
- 13) *Project Planning* (PP): Planejamento do Projeto, cujo propósito é estabelecer e manter planos que definam as atividades do projeto;
- 14) *Process and Product Quality Assurance* (PPQA): Garantia da Qualidade do Produto e do Processo, cujo propósito é fornecer pessoal e gerenciamento com o objetivo focado no processo e produtos associados;
- 15) *Quantitative Project Management* (QPM): Gestão do Projeto Quantitativo, cujo propósito é gerenciar quantitativamente os processos definidos do projeto para obter a qualidade estabelecida do projeto e objetivos de desempenho dos processos;
- 16) *Requirements Development* (RD): Desenvolvimento de Requisitos, cujo propósito é produzir e analisar os requisitos do cliente, do produto e dos componentes do produto;
- 17) *Requirements Management* (REQM): Gestão de Requisitos, cujo propósito é gerenciar os requisitos do produto e dos componentes do projeto, e identificar inconsistências entre os requisitos, os planos e os resultados do projeto;
- 18) *Risk Management* (RSKM): Gestão de Riscos, cujo propósito é identificar potenciais problemas antes que ocorram de tal forma que atividades de tratamento de riscos possam ser planejadas e solicitadas quando necessário por toda vida do produto ou projeto, de forma a diminuir impactos adversos sobre os objetivos a serem atingidos;
- 19) *Supplier Agreement Management* (SAM): Gestão de Contrato com Fornecedores, cujo propósito é gerenciar a aquisição de produtos dos fornecedores;
- 20) *Technical Solution* (TS): Soluções Técnicas, cujo propósito é projetar, desenvolver e implementar soluções para os requisitos. Isto compreende produtos, componentes e processo do ciclo de vida do produto relacionado em separado ou combinado conforme apropriado;
- 21) *Validation* (VAL): Validação, cujo propósito é demonstrar que um produto ou componente atende completamente seu propósito de utilização quando inserido em um ambiente especificado;
- 22) *Verification* (VER): Verificação, cujo propósito é garantir que os produtos selecionados atendam seus requisitos especificados.

Todas estas 22 áreas de processos relacionam-se conforme Figura 8, onde as áreas de processos de Medição e Análise (MA), Garantia da Qualidade do Processo e Produto (PPQA) e Gestão de Configuração (CM) fornecem apoio básico às outras áreas de processos do

CMMI, como por exemplo, necessidades de ações corretivas para produtos não conformes, abordagem de medição e integridade do produto por meio da gestão de sua configuração.

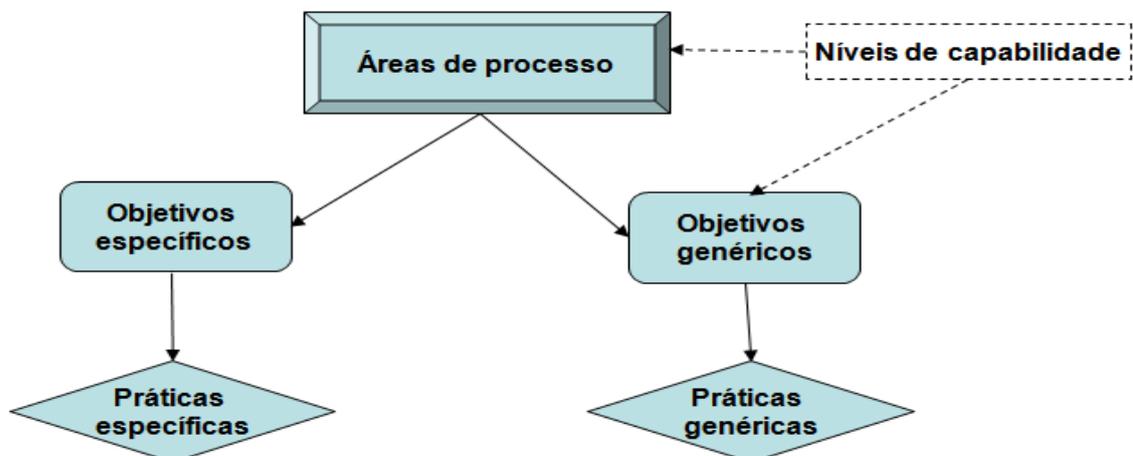


Fonte: (PHILLIPS *et al.*, 2006)

Figura 8 – Áreas de processos de apoio

4.1 NÍVEIS DE CAPABILIDADE

Para apoiar as organizações que adotam a representação contínua, o CMMI® utiliza modelos que refletem o nível de capacidade. O nível de capacidade engloba objetivos genéricos e suas práticas genéricas, conforme Figura 9, relacionadas para cada área de processo com o objetivo de melhoria dos mesmos.



Fonte: (PHILLIPS *et al.*, 2006)

Figura 9 – Estrutura da representação contínua

Os 6 níveis de capacidade, numerados de 0 a 5 conforme Quadro 5, são o Incompleto, o Realizado, o Gerenciado, o Definido, o Gerenciado quantitativamente e o Em aperfeiçoamento.

Quadro 5 – Descrição e significado da representação contínua

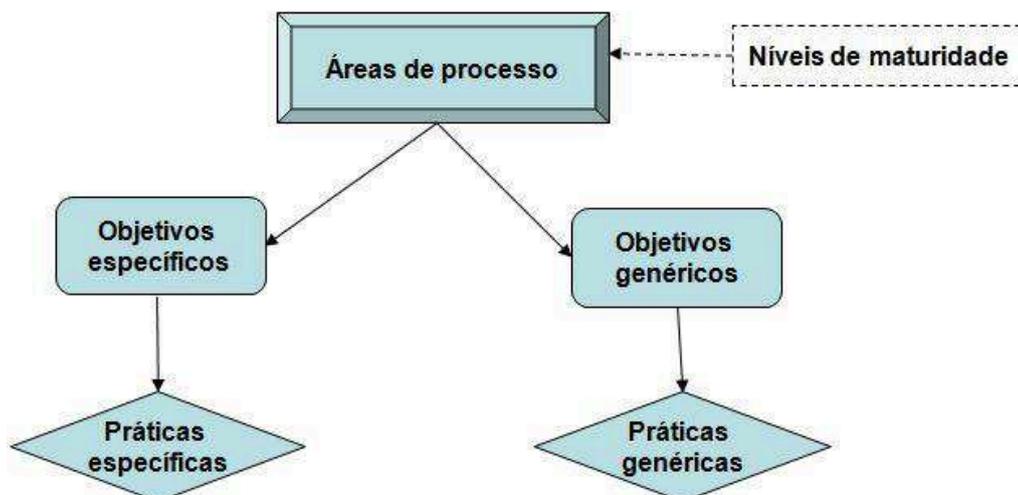
Nível	Descrição	Significado
0 - Incompleto	Processo que não é realizado ou é parcialmente. Um ou mais objetivos específicos não são satisfeitos e não existem objetivos genéricos.	Não aplicável.
1 - Realizado	Atende aos objetivos específicos, mas não está institucionalizado.	Processos relacionados a uma área de processo são processos realizados.
2 - Gerenciado	Possui infra-estrutura necessária para apoiar o processo; é planejado e executado de acordo com políticas; emprega pessoas habilitadas que possuem recursos para produzir resultados controlados; envolve partes interessadas; é monitorado, controlado e analisado criticamente.	Existe uma política que indica como o processo será executado, por meio de planejamento e monitoramento.
3 - Definido	É gerenciado de acordo com normas da empresa e diretrizes. O propósito, as entradas, os critérios de entrada, atividades, regras, medidas, verificações, saídas e critérios de saídas são claramente declarados.	É mais consistente devido a normas organizacionais.
4 – Gerenciado quantitativamente	É um processo definido que utiliza técnicas estatísticas e quantitativas durante a vida do processo.	É um fator chave que dá maior visibilidade ao desempenho de subprocessos, tornando-se mais competitivo para o mercado.
5 – Em aperfeiçoamento	É um processo gerenciado quantitativamente, que é melhorado por meio do entendimento das causas das variações no processo.	Os subprocessos estão estabilizados.

Fonte: adaptado de (PHILLIPS *et al.*, 2006)

4.2 NÍVEIS DE MATURIDADE

Para apoiar a utilização da representação contínua, todos os modelos CMMI® refletem níveis de maturidade em seus projetos e conteúdo. O nível de maturidade consiste de práticas específicas e genéricas para um grupo específico de áreas de processo que melhoram o desempenho global da organização. O nível de maturidade fornece um meio de prever o desempenho em uma dada disciplina ou grupo de disciplinas. Os níveis de maturidade são mensurados pela obtenção de objetivos genéricos e específicos associados com cada grupo predefinido de áreas de processos, conforme Figura 10. Os cinco níveis são: 1º) inicial, 2º) gerenciado, 3º) definido, 4º) gerenciado quantitativamente e 5º) em aperfeiçoamento.

Os níveis de 2 a 5 são termos semelhantes aos níveis de capacidade porque os conceitos de níveis de capacidade e maturidade são complementares. Níveis de maturidade são usados para caracterizar melhorias organizacionais relativas a um grupo de áreas de processos, e níveis de capacidade para caracterizar a melhoria organizacional relativas a áreas de processos individuais.



Fonte: (PHILLIPS *et al.*, 2006)

Figura 10 – Estrutura da representação por estágios

As descrições de cada nível de maturidade são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Descrição e significado da representação por estágios

Nível	Descrição	Significado
1 - Inicial	Os processos são caóticos, não há um ambiente favorável para o apoio dos processos as empresas.	Excedem o orçamento e não atendem aos tempos de entrega, abandonam os processos em tempo de crise e não conseguem repetir o sucesso.
2 - Gerenciado	Os processos são planejados e executados conforme políticas da organização e seguem descrições, normas e procedimentos da organização, uso de pessoas habilidosas e há o envolvimento de partes interessadas; os processos são monitorados, controlados, analisados criticamente e verificados.	Há garantia de práticas mesmo em tempos difíceis, os produtos e entregas de serviços são visíveis para a gerência por meio de pontos definidos, os compromissos são estabelecidos e revisados com as partes interessadas.
3 - Definido	Os processos são bem caracterizados e entendidos, e são descritos em normas, procedimentos, ferramentas e métodos. O grupo de processos-padrão da organização está estabelecido e é melhorado com o tempo. Os processos declaram o propósito, entradas, critérios de entrada, atividades, funções, medidas, etapas de verificação, saídas e critérios de saída.	O grupo de processos-padrão visa à utilização para um projeto particular e por isso são mais consistentes. Os processos são gerenciados proativamente utilizando o entendimento das inter-relações das atividades de processos e medidas detalhadas do processo, do produto e do serviço.
4 – Gerenciado quantitativamente	A organização e os projetos estabelecem objetivos quantitativos para qualidade, desempenho dos processos e os usa como critérios para gerenciar os processos. Para subprocessos selecionados, medidas detalhadas de desempenho são coletadas e analisadas estatisticamente. Causa especiais de variação de processo são identificadas e se apropriado, corrigidas para prevenir futuros problemas.	Os objetivos quantitativos são baseados em necessidades do cliente e usuários finais, organização e implementadores dos processos. A qualidade e o desempenho são avaliados em termos estatísticos, gerenciado por toda vida do processo e são base para decisões da organização.
5 – Em aperfeiçoamento	A organização melhora continuamente seus processos baseados em entendimento quantitativo da causas comuns de variações inerentes dos processos. Os objetivos quantitativos de melhoria contínua são estabelecidos, continuamente revisados para refletir as mudanças nos objetivos de negócios, e usadas como critério de gerenciamento da melhoria contínua.	Melhoria contínua em processos incrementais e inovativos, e melhorias tecnológicas. Os efeitos da melhoria são medidos e avaliados contra objetivos quantitativos de melhoria.

Fonte: adaptado de (PHILLIPS *et al.*, 2006)

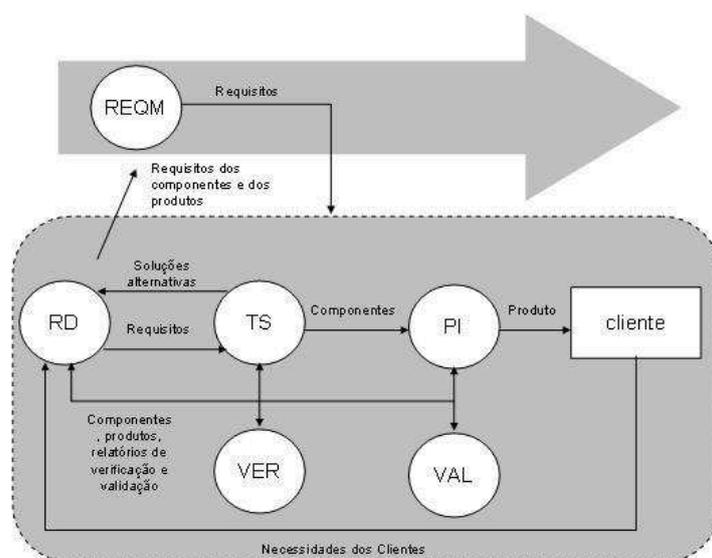
4.3 MODELO DE CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO CMMI®

As áreas de processos de engenharia de sistemas cobrem o desenvolvimento e a manutenção das atividades com o uso da terminologia da engenharia de tal forma que o uso de qualquer disciplina técnica do processo de desenvolvimento do produto (como engenharia de *software* ou engenharia mecânica) pode usá-las para melhoria do processo (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As áreas de processos de engenharia também integram os processos associados com diferentes disciplinas de engenharia em um processo singular de desenvolvimento de produto, apoiando uma estratégia de melhoria de processo orientada ao produto. Esta estratégia foca objetivos de negócios essenciais ao invés de disciplinas técnicas específicas. Esta abordagem de processo evita efetivamente a tendência de mentalidade departamentalizada da organização (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As áreas de processo de engenharia, conforme Figura 11, são aplicadas ao desenvolvimento de qualquer produto ou serviço no domínio do desenvolvimento. São elas:

- desenvolvimento de requisitos;
- gestão de requisitos;
- soluções técnicas;
- integração do produto;
- verificação; e,
- validação (PHILLIPS *et al.*, 2006).



Fonte: (PHILLIPS *et al.*, 2006)

Figura 11 - Os processos de engenharia de sistemas do CMMI e suas relações

A área de processo Desenvolvimento de Requisitos (RD) identifica as necessidades dos clientes e traduz estas necessidades em requisitos do produto. O conjunto de requisitos do produto é analisado para resultar em uma solução conceitual de alto nível e são alocados para estabelecer um conjunto inicial de requisitos dos componentes dos produtos. Esta área de processo fornece requisitos para área de processo Soluções Técnicas (TS), onde os requisitos são convertidos na arquitetura do produto, no projeto do componente do produto e no próprio componente (PHILLIPS *et al.*, 2006).

O processo de Gerenciamento de Requisitos (REQM) mantém os requisitos. Descreve as atividades para obter e controlar mudanças de requisitos e garantir que outros planos e dados relevantes são mantidos corretos, e fornece a rastreabilidade de requisitos do cliente para o produto e para o componente. Garante que mudanças para requisitos são refletidas nos planos de projeto, atividades e resultados. Este ciclo de mudanças pode afetar todas as áreas de engenharia de sistemas; por isso, Gerenciamento de Requisitos é uma seqüência recursiva e dinâmica de eventos, e é fundamental para processos de engenharia de projetos controlados e disciplinados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A área de processo Soluções Técnicas (TS) desenvolve um pacote de dados técnicos para os componentes que serão usados pela Integração do Produto (PI). Soluções alternativas são examinadas com a intenção de selecionar um projeto otimizado e baseado no estabelecimento de critérios. Estes critérios podem ser significativamente diferentes para os produtos, dependendo do tipo de produto, do ambiente operacional, requisitos de desempenho, requisitos de apoio, e cronogramas de custos e entregas. Soluções Técnicas (TS) utiliza-se de práticas específicas da verificação para desenvolver a verificação do projeto e revisões durante o projeto e antes da construção final (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A Verificação (VER) garante que os resultados selecionados atendem aos requisitos especificados. Seleciona os resultados e métodos de verificação que serão utilizados para verificar os resultados contra os requisitos. É geralmente um processo incremental e usualmente em conclusão com a verificação de todos os produtos montados. A verificação também integra revisões, que são um método provado de remover defeitos mais cedo e fornecer informações valiosas para os produtos finais e componentes que estão sendo desenvolvidos e mantidos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A Validação (VAL) homologa os produtos contra as necessidades dos clientes. Podem ser realizados em ambiente operacional ou ambiente operacional simulado. Coordenação com o cliente sobre a validação dos requisitos é uma importante atividade deste processo. O escopo da validação inclui a validação de produtos, de componentes, produtos trabalhados, produtos

intermediários selecionados e processos. Estes elementos de validação requerem uma reavaliação e revalidação. Problemas descobertos durante a validação são resolvidos durante o desenvolvimento de requisitos e soluções técnicas (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A Integração de Produto (PI) contém práticas específicas associadas com a geração da melhor seqüência possível de integração, integrando os componentes e entregando o produto ao cliente. Usa técnicas específicas, tanto da verificação quanto da validação, para implementar o processo de integração (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Ressalta-se neste momento que somente este grupo de áreas de processos, conforme Figura 11, do CMMI serão avaliadas, mas que existem grupos de áreas de processos, como por exemplo, as áreas de processos de apoio representados pela Figura 8, onde a Gestão de Configuração, também é importante para análise do grupo de Engenharia de Sistemas.

Os objetivos e práticas específicas das áreas de processos de engenharia estão detalhados no ANEXO A - Áreas dos processos de engenharia do CMMI.

5 MÉTRICAS

Métricas são medidas seqüenciais que rastreiam o progresso e tendências do desempenho técnico de sistemas e processos de desenvolvimento de projetos. Esta atividade que estima e monitora valores de parâmetros de desempenho técnicos essenciais de projetos são Métricas de Produto, também conhecidas como medidas de desempenhos técnicos (GREENSPUN, 2004).

Métricas que fornecem informações sobre processos de desenvolvimento, ao contrário de desempenho de produtos, são chamadas de métricas de processos, como mostra o Quadro 7 (GREENSPUN, 2004).

Quadro 7 – Exemplos de métricas

Métricas de desempenho	Métricas de processos	Outras métricas
O peso de um produto	Erros de desenho	Satisfação de clientes
Força	Rejeições pela qualidade	Qualidade do produto
Confiabilidade	Horas de fabricação de um produto	Desempenho de fornecedores
Margem de segurança	Horas de tempo perdidos	Negócios de serviços
Tempo de resposta de sistema	Custos variáveis	Inovações

Fonte: GREENSPUN (2004).

A coleta de métricas auxilia nas avaliações periódicas de um projeto para fornecer uma base de ação para corrigir tendências adversas, identificar oportunidades para melhorar o processo de engenharia de sistemas e avaliar o impacto de mudanças no processo; e fornecer um conjunto de informações de projeto como base para dados empíricos, e estimar projetos futuros. (GREENSPUN, 2004)

Métricas podem levar a melhorias de parâmetros de produto e desempenho, melhorar o comportamento do pessoal em todos os níveis e podem ser usadas como prêmios de reconhecimento (Prêmio Nacional de Qualidade, PNQ). É outro método para avaliar como as metas e objetivos estão sendo atingidos, e alertar riscos inesperados aos projetos. (GREENSPUN, 2004).

Segundo Stevens *et al.* (1998), as métricas de eficiência de desenvolvimento de sistema necessitam ser gerenciadas em nível de organização. Os objetivos das métricas são melhorar a eficiência de todos os desenvolvimentos e detectar problemas em uma fase inicial com

desenvolvimento simples. As métricas devem fornecer informações para melhorar a qualidade de decisões, como re-direcionar ou cancelar um projeto, prover mais recursos, analisar os objetivos de projeto ou determinar o efeito de uma mudança de processo.

A escolha de métricas deve ser cuidadosamente feita, perguntando questões como:

- quais são os requisitos para estas métricas?
- quais decisões são necessárias para realizar o projeto?
- quais informações são necessárias para fazer estas decisões?
- o processo de desenvolvimento pode atender aos objetivos da organização?

(STEVENS *et al.*,1998)

Ainda, segundo Stevens *et al.* (1998), métricas para os processos de engenharia de sistemas poderiam incluir:

- porcentagem de requisitos de usuários atendidos – o que encoraja a criação de requisitos dos usuários e mede quão bem eles estão sendo implementados por todo ciclo de vida;
- conformidade a recursos e cronogramas planejados – mede a capacidade da equipe de planejar e prever;
- quantidade de re-trabalho – pode ser subjetiva, mas mede o esforço que está sendo desperdiçado. Esta métrica cobre trabalhos não planejados e a interação de um produto não planejada;
- problemas causados aos usuários por falhas de produto – representa o dano causado ao cliente por produto que não atendem seus requisitos mais os custos de reposição e/ou re-instalação.

Para Hauser e Katz (1998), existem 7 armadilhas que levam a métricas não produtivas: demora nas premiações, uso de premiações arriscadas, métricas difíceis de controlar, perda de foco no objetivo, escolha de métricas que são precisamente erradas, assumir que os gerentes e empregados não tem opções, e pensamento limitado.

Métricas como custo reduzido do tempo de desenvolvimento de um produto ou defeitos descobertos no tempo de vida do produto levam a demora nas premiações e a tendência do empregado a tomar decisões e ações que recompensam a curto prazo. A solução seria adotar métricas que são medidas hoje, mas que impactam em resultados futuros.

Qualquer métrica que depende de resultados incertos, por serem além de seu controle, impõe risco aos gerentes e empregados.

De maneira oposta, Hauser e Katz (1998) propõem 7 passos para boas métricas: ouvir o cliente, entender os gerentes e empregados, entender a inter-relação, entender as ligações,

testar as correlações e testar as reações dos gerentes e empregados, envolverem os empregados e gerentes, e procurar por novos padrões.

6 A FERRAMENTA IDEF0

De acordo com Stevens *et al.* (1998), a melhoria nos processos de engenharia de sistemas está atrelada à definição de objetivos mensuráveis, documentação de como são os processos correntes (*as is*), definição de como deveriam ser os processos melhorados (*should be*) e identificação de lacunas (*gaps*) entre o padrão ideal e o atual.

Os requisitos de clientes são uma boa fonte de informação para que o desenvolvimento de um sistema torne-se um processo medido. Melhoria na eficiência de desenvolvimento, tempo de desenvolvimento de produto, qualidade entregue, medidas de cronogramas, alocação de recursos, tempo de aplicação dos requisitos dos clientes e quantidade de re-utilização podem ser avaliados contra os requisitos (STEVENS *et al.*, 1998).

A ferramenta IDEF0 fornece uma “fotografia” das funções e suas interfaces que devem ser capturadas e entendidas de modo a que se tomem decisões de engenharia de sistemas, que são lógicas, acessíveis, integrativas e executáveis. Reflete como as funções do sistema se inter-relacionam, e operam exatamente como uma “fotografia” de um produto que reflete como as diferentes partes do produto se combinam. Quando usado de maneira sistemática, o IDEF0 fornece uma abordagem de engenharia de sistemas para (NIST, 1993):

- realizar análises de sistemas e projetos em todos os níveis para sistemas compostos de pessoas, máquinas, materiais, computadores e informações de todas as variedades, toda organização, um sistema ou uma área de estudo;
- produzir referência documentada simultaneamente com o desenvolvimento para servir de base para integração de novos sistemas ou melhorar os sistemas existentes;
- comunicação entre analistas, projetistas, usuários e gerentes;
- permitir consenso entre a equipe de formar a ser obtida por entendimento comum;
- gerenciar projetos amplos e complexos usando medições qualitativas de progresso;
- fornecer uma arquitetura de referência para análise da organização, engenharia de informação e gerenciamento de recursos.

A ferramenta IDEF0, que representa funções ou atividades de sistemas, é um diagrama de bloco representado pela Figura 12.

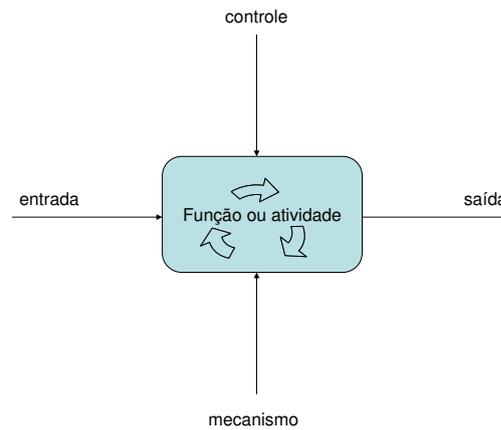


Figura 12 - Diagrama IDEF0

Segundo Loureiro (1999), este bloco representa uma atividade ou grupo de atividades que transforma entradas em saídas sob a influência de controles usando mecanismos fornecidos.

As entradas são objetos a serem processados ou transformados pela função ou atividade e podem ser objetos físicos ou informações.

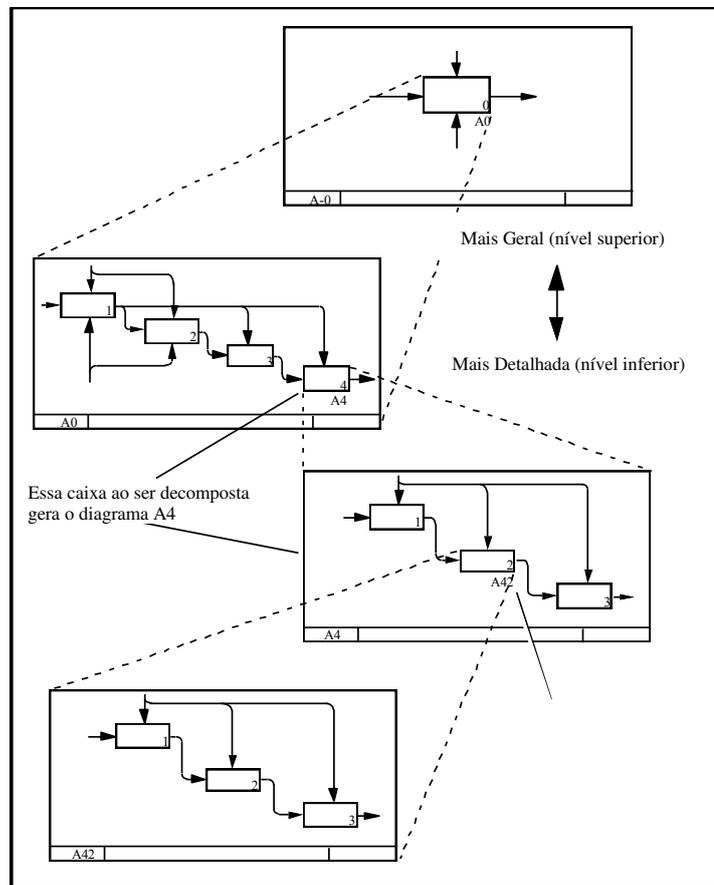
Os controles são definidos na forma de informação e são usados para ativar, regular e sincronizar a função, como por exemplo, ordens de fabricação e engenharia, restrições, planos de fabricação, cronogramas, diretrizes gerenciais e regulamentos.

Os mecanismos podem ser recursos físicos e/ou informações, como arquivos de dados, banco de dados, máquinas, instalações, sistemas de *software* e operadores humanos.

As saídas são objetos processados pela função ou atividade. Podem ser objetos físicos ou informações. Saídas de uma função podem ser entradas de outras funções. Se a saída é uma informação, ela pode ser atribuída como um controle de entrada, uma atividade de entrada ou um mecanismo de dados pelas outras funções.

Se a saída é um objeto físico somente poderá ser usada como uma entrada de atividade ou mecanismo de entrada pelas outras funções (LOUREIRO, 1999).

O IDEF0 é uma ferramenta de análise de processos de qualquer natureza, mediante a seqüência de diagramas inter-relacionados logicamente, iniciados pela função macro do sistema. Este diagrama é desdobrado em outros diagramas detalhados a fim de completar o objetivo do mapeamento, conforme Figura 13 (MARANHÃO; MACIEIRA, 2004).



Fonte: WIENDL (2009)

Figura 13 - Decomposição Hierárquica do método IDEF0

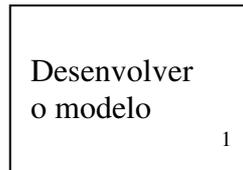
Esta ferramenta fornece vantagens tais como: possibilidade de complementar a natural limitação de descrições textuais dos processos; possibilidade de fazer análises concisas e precisas, mesmo para processos complexos; facilidade de rever os processos sob custos e prazos menores; facilidade de apresentação de alternativas de melhorias; e redução de ambigüidades, em face à natureza gráfica (MARANHÃO; MACIEIRA, 2004).

6.1 SINTAXE DO IDEF0

Os componentes estruturais, características de linguagem e as regras que definem as relações entre elas são consideradas como sintaxe de linguagem. Os componentes da sintaxe IDEF0 são os blocos, setas, regras e diagramas. Os blocos representam funções, definidas como

atividades, processos ou transformações. As setas representam dados ou objetos relacionados às funções. Regras definem como os componentes são usados e os diagramas fornecem um formato para retratar modelos tanto verbalmente como graficamente. O formato também fornece uma base de modelo de gestão da configuração (NIST, 1993).

Um bloco fornece uma descrição do que acontece em uma função específica, conforme mostra figura abaixo.

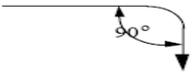


Fonte: NIST (1993).

Figura 14 - Representação de um bloco.

Cada bloco deve ter um nome e número dentro de seus limites. O nome deve ser um verbo no imperativo ou frase verbal que descreva a função. Os números são utilizados para identificar o bloco com o texto associado (NIST, 1993).

Uma seta é composta por um ou mais segmentos de linha, terminando com uma ponta de seta no final. Como mostra a Figura 15, segmentos de retas podem ser retas horizontais e verticais, ou curva (com um ângulo de 90° conectando partes horizontais e verticais), e podem ter configuração de ramificações (bifurcação ou junção). As setas não representam um fluxo ou seqüência como os modelos de fluxo de processos tradicionais; elas conduzem dados e objetos relacionados às funções a serem executadas (NIST, 1993).

	setas retilíneas
	setas curvas
	setas bifurcadas
	junções de setas

Fonte: NIST (1993).

Figura 15 - Representação de setas.

As seguintes regras são definidas para os blocos:

- os blocos devem ter tamanho suficiente para inserir um nome;
- os blocos devem ter forma retangular com cantos vivos;
- os blocos devem ser construídos com linhas sólidas (NIST, 1993)

Para as setas, segue-se:

- setas que se curvam devem usar curvas somente com 90°;
- setas devem ser desenhadas em segmentos de linhas retas;
- setas devem ser desenhadas verticalmente ou horizontalmente, não diagonalmente;
- o fim de cada seta deve tocar o perímetro externo do bloco da função e não deve cruzá-la para o interior do bloco; e,
- as setas devem se direcionar para os lados do bloco, não para os cantos (NIST, 1993)

6.2 DIAGRAMAS IDEF0

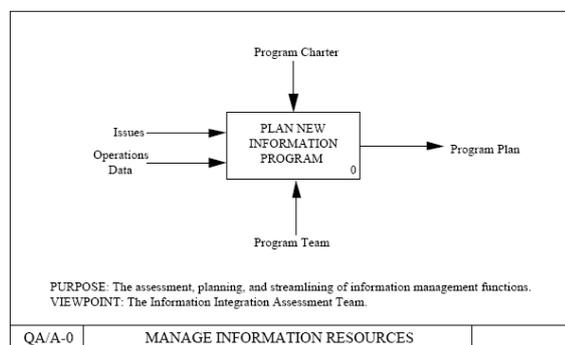
6.2.1 Tipos de Diagramas

O IDEF0 é composto por três tipos de informações: diagramas gráficos, texto e glossário. O diagrama gráfico é o principal componente do IDEF0 contendo blocos, setas, interconexões blocos/setas e relações associadas. Os blocos representam cada função principal de um assunto, que por sua vez são desdobrados em diagramas mais detalhados até que o assunto seja descrito em um nível necessário para apoiar os objetivos de um projeto em particular. O nível macro do diagrama fornece a descrição mais geral ou abstrata do assunto. Este diagrama é seguido por uma série de diagramas “filhos” fornecendo mais detalhes sobre o assunto (NIST, 1993).

6.2.2 Contexto do Diagrama Macro

Cada representação deve ter um diagrama macro na qual o assunto é representado por um bloco simples com suas setas ao redor. É também chamado de Diagrama A-0 (pronunciado de A traço zero). As setas neste diagrama interagem com a área externa da função para estabelecer um foco no modelo. Uma vez que o bloco representa todo o assunto, o texto descritivo escrito no bloco é geral. O mesmo pode-se dizer das setas desde que elas representem também um grupo externo de interfaces ao assunto (NIST, 1993).

O diagrama A-0 também estabelece o escopo e orientação. Um exemplo é mostrado na Figura 16.



Fonte: NIST (1993).

Figura 16 - Diagrama A-0.

6.2.3 Diagrama filho

A função representada no contexto macro do diagrama pode ser decomposta em subfunções através da criação de diagramas filho. Por sua vez, cada diagrama filho pode ser decomposto em diagramas-filho de níveis inferiores. Para um dado diagrama, algumas das funções podem ser decompostas. Cada diagrama-filho contém blocos-filho e setas-filho que fornecem detalhes adicionais sobre o diagrama-pai. O diagrama-filho, que resulta da decomposição de uma função, cobre o mesmo escopo do bloco-pai, por isso, o diagrama filho pode ser entendido como sendo o interior do bloco pai. Esta estrutura é mostrada na Figura 13 (NIST, 1993). As regras gerais são apresentadas no ANEXO B - Regras gerais para diagramas IDEF0.

7 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo, apresenta-se a classificação do método utilizado, o delineamento do trabalho de campo e os aspectos relacionados com a sua realização.

7.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Existem várias formas de classificar as pesquisas. Ao utilizar Silva e Menezes (2005), o presente trabalho se classifica:

- Sob o ponto de vista de sua natureza, como **aplicada**, pois se pretende gerar soluções práticas de melhorias nos processos de engenharia de sistemas do veículo de sondagem VSB-30;
- Sob o ponto de vista da abordagem do problema, como **qualitativa**, por descrever os processos e subprocessos da engenharia de sistemas estabelecidos no setor espacial, pela abordagem de processos e seus significados, e sem o uso de métodos e técnicas estatísticas ou quantitativas;
- Sob o ponto de vista de seus objetivos, como **exploratória**, pois promove maior familiarização com os processos estudados de forma a torná-los explícitos;
- Sob o ponto de vista de procedimentos técnicos, com a utilização predominantemente do **levantamento**, onde a principal fonte de coleta de dados foram entrevistas com especialistas para mapear os processos estudados e levantar opiniões e melhorias a respeito dos mesmos (refinamento destes mapeamentos de processo). As entrevistas com os participantes foram não-estruturadas, o que permitiu explorar amplamente questões de modo interativo sobre as entradas, saídas, controles e mecanismos da ferramenta IDEF0. Foram realizadas também observações assistemáticas, sem planejamento e controles prévios de documentos.

7.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA UTILIZADO

8 O PROCESSO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS DO VSB-30

Os foguetes de sondagem são utilizados para missões suborbitais de exploração do espaço, capazes de lançar cargas úteis compostas por experimentos científicos e tecnológicos. O Brasil possui foguetes de sondagem operacionais que suprem boa parte de suas necessidades, com uma história bem sucedida de lançamentos (DORE *et al.*, 2008).

O veículo de sondagem de dois estágios, conforme Figura 19, é um foguete sem controle ativo, sendo estabilizado aerodinamicamente e dinamicamente por dois conjuntos de superfícies aerodinâmicas, denominadas empenas. O foguete não dispõe de sistema de separação do primeiro estágio. Durante a fase propulsada do primeiro estágio, esse empurra o segundo estágio com tal intensidade, que não há necessidade de um sistema de fixação entre os estágios. Cessado o empuxo, o primeiro estágio é empurrado para trás pelo arrasto aerodinâmico (DORE *et al.*, 2008).



Fonte: AEB (2007)

Figura 19 - Veículo de Sondagem VSB-30

Alguns equipamentos foram adotados a partir de outros foguetes, como por exemplo, o motor do segundo estágio e as empenas e porta-empenas do primeiro estágio (PALMÉRIO *et al.*, 2005). O Veículo possui um comprimento de aproximadamente 12,5 (m), um apogeu de aproximadamente 282 (km), alcance de aproximadamente 87 (km) e aceleração máxima de 12 (g) (PALMÉRIO *et al.*, 2003).

A partir da ferramenta IDEF0 proposta, os processos atuais de verificação, integração do produto e validação para o referido veículo foram mapeados. Esses mapeamentos encontram-se no APÊNDICE A - Diagramas IDEF0 das áreas de processos de verificação, integração e

validação. Os processos de desenvolvimento de requisitos e gerenciamento de requisitos, soluções técnicas não foram mapeados conforme IDEF0 porque não possuem um processo estabelecido conforme modelo CMMI.

Os seguintes resultados foram obtidos no processo de engenharia sistemas do veículo de sondagem VSB-30:

- 1) Para a área de processo desenvolvimento de requisitos e gerenciamento de requisitos, os modelos do CMMI foram apresentados e foi informado que não há um processo sistemático de avaliação de requisitos determinados pelos clientes baseados no modelo apresentado; portanto, não atendem aos processos do modelo CMMI;
- 2) Para a área de processo soluções técnicas, o modelo de soluções técnicas do CMMI foi apresentado à área de engenharia de sistemas da organização aeroespacial para comparação com a forma com que foi tratado o projeto do VSB-30. Esse processo não atende ao modelo CMMI porque o processo de desenvolvimento de requisitos é que fornece como entrada os requisitos validados e recebe como controle desse processo a arquitetura do produto para identificar requisitos de interface; portanto, o objetivo específico de selecionar soluções para os componentes do modelo CMMI não é atendido.

Foi salientado pelo entrevistado o desejo de trabalhar dentro de sistemas padronizados de desenvolvimento, mas limitações do corpo técnico e de sua incompleta formação naqueles sistemas têm-se tornado um impeditivo. Foi feita sugestão de tema para tese de doutorado em como se implantar a prática do modelo CMMI em um ambiente com aquelas limitações apontadas.

Aquela área informou que não foi seguido plenamente o modelo, embora fosse desejado; os requisitos de sistema foram apresentados por representantes da Agência Espacial Européia (ESA) e, a AEB e a organização aeroespacial aceitaram a proposta de desenvolvimento do veículo e de seus requisitos.

O principal esforço foi o desenvolvimento de um novo motor (S31) que atuaria no primeiro estágio. Os seus estudos, nas áreas de propulsão e química, foram iniciados imediatamente. A ESA também iniciou o projeto aerodinâmico do veículo.

Os estudos conjuntos de desempenho e de adaptação para as operações nos centros de lançamento foram realizados e a redação da árvore de especificações de requisitos foi concluída. Os subsistemas já desenvolvidos foram adaptados de outros projetos, tais como o VLS-1 e o VS-40, e os relatórios técnicos de estudo foram cadastrados.

A avaliação da qualificação, o vôo de qualificação e os vôos operacionais foram realizados com sucesso. O processo de produção dos veículos bem como seus dados foram documentados.

Quanto ao emprego de normas no processo de desenvolvimento, foi esclarecido que não houve esta imposição. Foram seguidos procedimentos e preceitos adotados internamente na organização aeroespacial, alguns baseados em normas nacionais e internacionais.

3) Para a área de processo Verificação, após a análise dos documentos apresentados e entrevistas, realizou-se o seu mapeamento; o resultado completo encontra-se no APÊNDICE A - Diagramas IDEF0 das áreas de processos de verificação, integração e validação.

A Figura 20 representa a visão macro do processo citado, onde as entradas são informações, como ordem de serviço a serem preenchidas e requisitos a serem verificados, e os componentes a serem verificados.

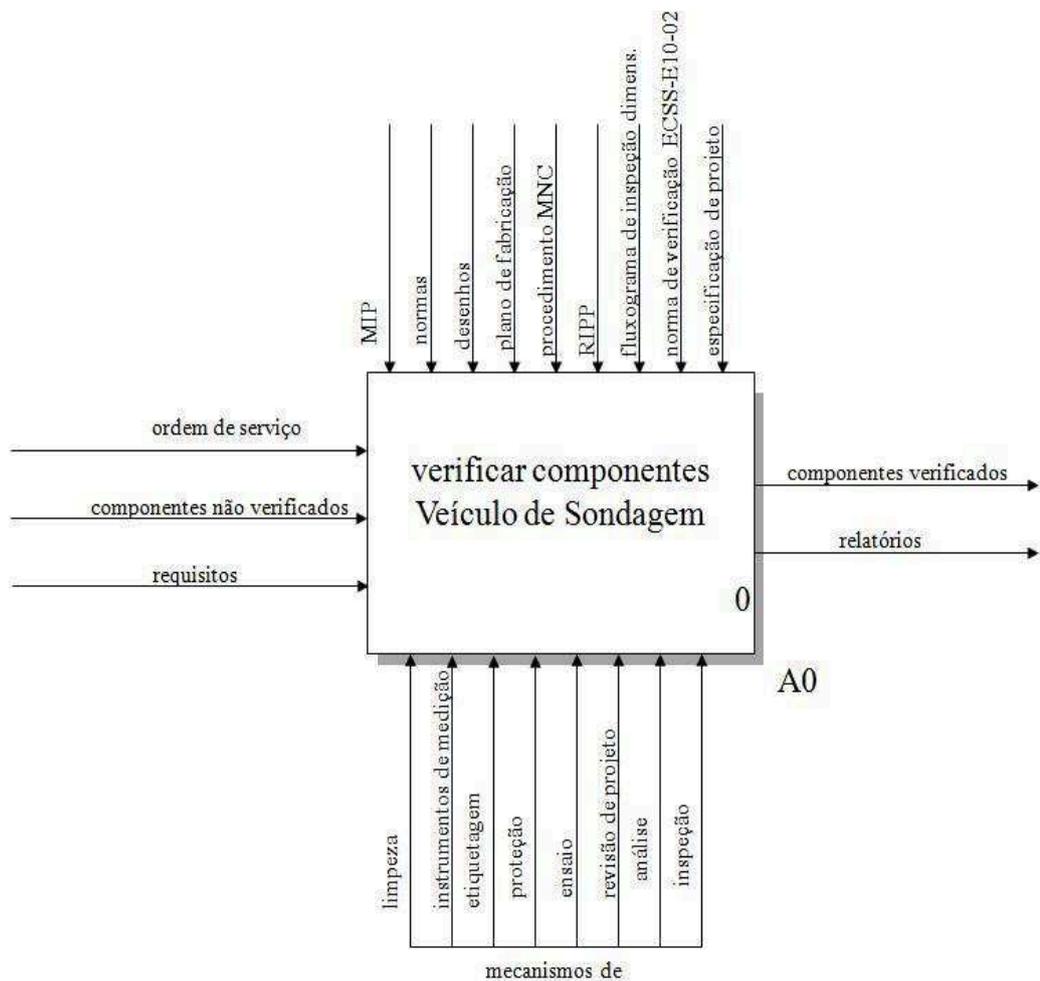


Figura 20 - Diagrama A0 de verificação de componentes.

A saída, por sua vez, resulta em relatórios e na verificação dos componentes com base nos seus controles e mecanismos. Os controles são basicamente normas de ensaios, principais pontos de verificação do sistema determinados pelo cliente (*Main Inspection Points* - MIP), desenhos, planos de fabricação, procedimentos para processos de materiais não-conformes (MNC), procedimento para emissão de relatório de inspeção de peças primárias (RIPP), fluxograma de inspeção dimensional e especificações de projeto.

Os mecanismos utilizados para a transformação das atividades baseiam-se nos recursos para realização de ensaios, inspeções, análises e revisões de projeto, e recursos para preservação do produto, como limpeza e etiquetagem.

4) Para a área de processo Integração de Produtos, após a análise dos documentos apresentados e entrevistas, realizou-se o seu mapeamento; o resultado completo é apresentado no APÊNDICE A - Diagramas IDEF0 das áreas de processos de verificação, integração e validação.

A Figura 21 representa uma visão geral das entradas, controles, mecanismos e saídas do processo de integrar os sistemas e subsistemas do Veículo de Sondagem VSB-30.

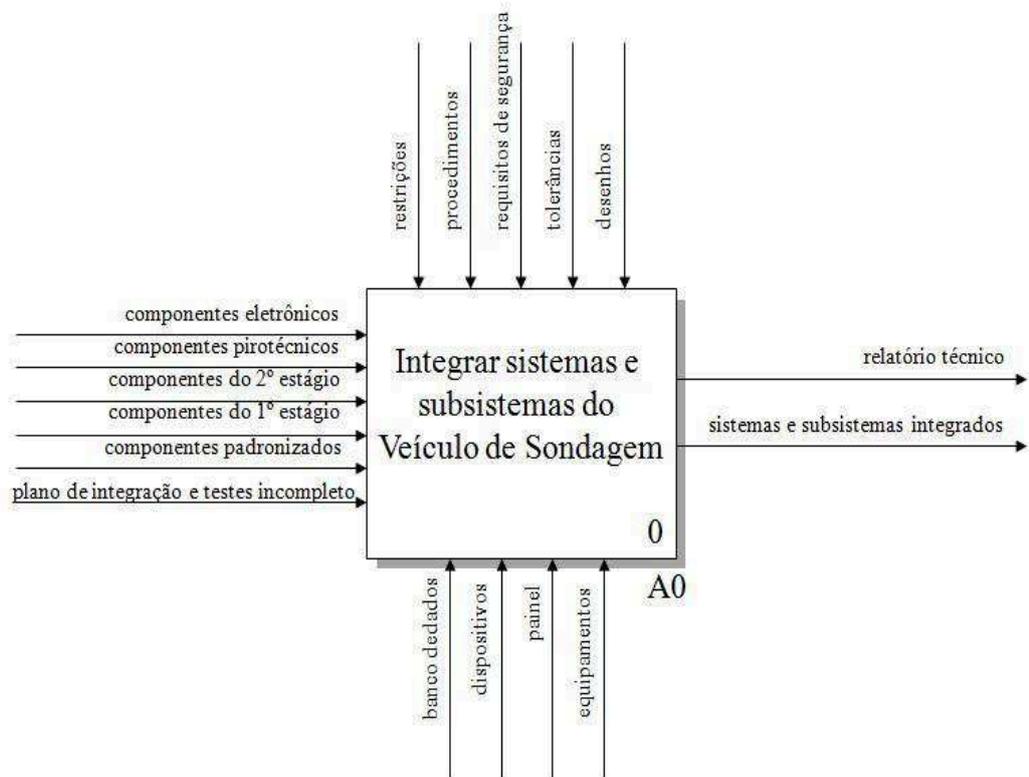


Figura 21- Diagrama A0 de integração de sistemas e subsistemas.

5) Para a área de processo Validação, após a análise dos documentos apresentados e entrevistas, realizou-se o seu mapeamento; o resultado completo é apresentado no APÊNDICE A - Diagramas IDEF0 das áreas de processos de verificação, integração e validação.

A Figura 22 mostra o processo de validação de um veículo de sondagem (VSB-30) onde as entradas são os componentes e o plano de qualificação que valida o processo; os mecanismos são recursos utilizados para análises, ensaios realizados, inspeções e simulações; os controles são os desenhos, normas e especificações técnicas; e as saídas controladas são os relatórios técnicos e de qualificação.

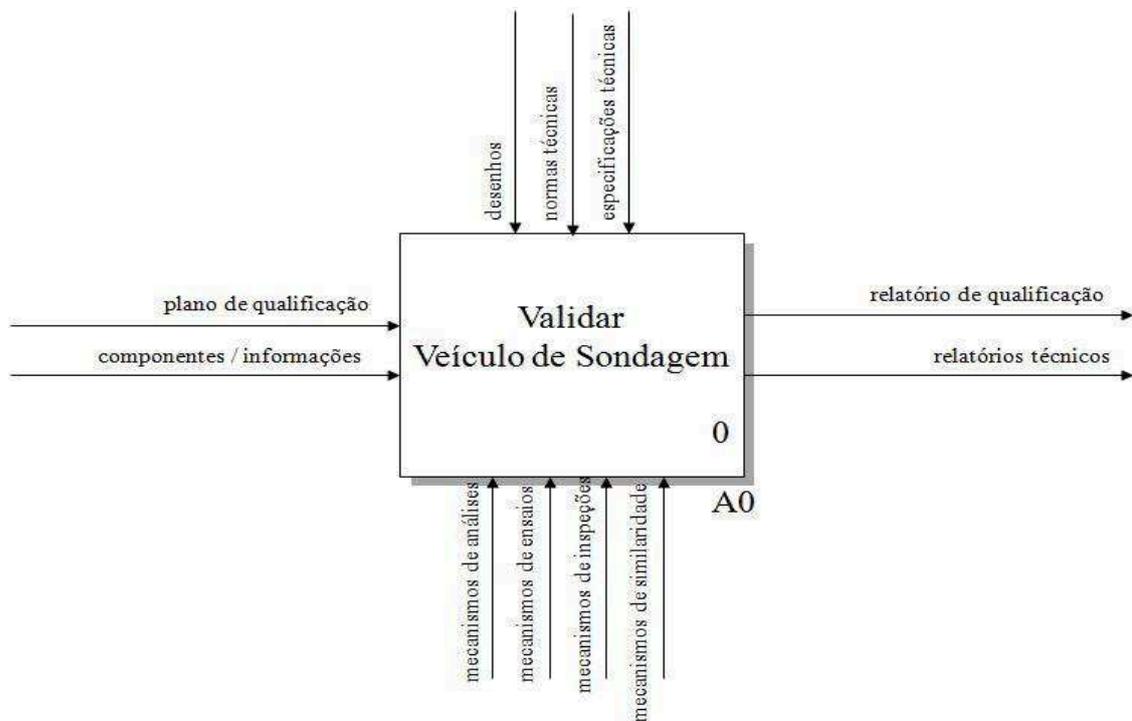


Figura 22 - Diagrama A0 de validação

Os blocos destacados com “sombras” das Figuras 20, 21 e 22, e das figuras do APÊNDICE A - Diagramas IDEF0 das áreas de processos de verificação, integração e validação; indicam que esses processos serão desdobrados em subprocessos. Destaca-se também naqueles diagramas que quando um desdobramento de uma saída, entrada, mecanismo ou controle não contém indicações de texto, significa ser a mesma denominação anterior.

9 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo discute os resultados do mapeamento dos processos de verificação, integração e validação bem como dos mapeamentos propostos para os processos de gerenciamento e desenvolvimento de requisitos, e soluções técnicas da engenharia do VSB-30 referenciados na Figura 18 (Capítulo 7).

A utilização da ferramenta IDEF0 vai ao encontro da abordagem de sistemas de Feigenbaum (1988), quando considera a combinação de fatores pessoas-máquinas-informações satisfazendo o atendimento aos requisitos do cliente com qualidade.

Esta aplicação pode ser estendida às outras áreas de processos da engenharia de sistema, como preconiza Bertalanffy (2008), onde não foram identificados os atendimentos aos objetivos e práticas específicas, tais como as áreas de processo de Desenvolvimento de Requisitos, Gerenciamento de Requisitos e Soluções Técnicas.

Em comparação com o modelo em ‘cascata’ discutido por Estefan (2008), a aplicação da ferramenta IDEF0 em conjunto com o modelo CMMI permite uma melhor interface entre os elementos do sistema, como os mecanismos e interações entre atividades adjacentes. Já para o modelo em ‘V’ pode-se observar que as atividades de definição do que será construído, conforme Figura 5, não são satisfeitas para o presente trabalho, mas a integração e verificação do que foi construído é satisfeita. O modelo em espiral não é aplicável ao VSB-30 pesquisado.

Estes diagramas auxiliam a qualidade durante todas as fases do ciclo de vida do produto, em todos os níveis na cadeia hierárquica, conforme esclareceu Blanchard (2008), entre outros, pois se pode verificar, por exemplo, as documentações (controles), os registros (saídas) e infra-estrutura necessária (mecanismos).

9.1 ANÁLISE DO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO

Para o mapeamento do processo de Verificação, todos os objetivos e práticas específicas do modelo CMMI foram atendidos, conforme o Quadro 9.

Quadro 9 – Evidência de atendimento do processo de verificação

Objetivos e práticas específicas do CMMI	Evidência do atendimento	Comentários
SG 1 Preparar a verificação	O atendimento às práticas específicas corresponde à evidência de atendimento deste objetivo específico.	Todas as práticas específicas (SP) foram atendidas.
SP 1.1 Selecionar os produtos para verificação	Componentes (entradas) das Figuras de A1 a A3. A entrada correspondente aos componentes não verificados da Figura A1 é desdobrada nas entradas das Figuras A2 e A3 com relação à verificação dimensional, de eletrônicos e pirotécnicos.	A seleção dos produtos para verificação dimensional corresponde à entrada de componentes e é determinada no fluxograma de inspeção dimensional e no MIP, que são controles do bloco 1 da Figura A2. A seleção dos produtos para verificação de eletrônicos embarcados é determinada conforme prevê a verificação de recebimento de sistemas eletrônicos em foguetes de sondagem, representada na entrada da Figura A2, bloco 2. A seleção dos produtos para verificação de pirotécnicos é previsto no relatório técnico onde as amostras de componentes a verificar são previstas como forma de atendimento aos requisitos das normas e especificação de projeto. As entradas são representadas no bloco 3 da Figura A2 e blocos 1, 2 e 3 da Figura A3.
SP 1.2 Estabelecer o ambiente para verificação	Mecanismos de infra-estrutura, ensaios, inspeções, instrumentos de todas as atividades das Figuras de A1 a A3.	Estes mecanismos são previstos no procedimento de MNC, fluxograma de inspeção dimensional, normas de ensaios para pirotécnicos, especificações de projeto e normas da NASA e ECSS.
SP 1.3 Estabelecer os procedimentos e critérios para verificação	Controles de todas as atividades das Figuras de A1 a A3.	Os controles são representados em todas as figuras e correspondem ao MIP, desenhos, especificações de projeto, normas, plano de fabricação, fluxograma de inspeção dimensional, procedimento de MNC e RIPP.
SG 2 Realizar avaliações especializadas	O atendimento às práticas específicas corresponde à evidência de atendimento deste objetivo específico	Todas as práticas específicas (SP) foram atendidas.
SP 2.1 Preparar avaliações especializadas	Controles como procedimento de MNC, fluxogramas de inspeção, cronograma de ensaios, roteiro de inspeção de peças primárias são preparações identificadas nos controles das atividades 1, 2 e 3 da Figuras A2 e A3	O procedimento de MNC prevê a participação do comitê de revisão de projeto, com participação dos órgãos de inspeção, garantia da qualidade, divisão de projeto e divisão de mecânica, assim como avaliações previstas no RIPP, no fluxograma de inspeção dimensional, onde também são determinadas as inspeções. O fluxograma do processo de verificação de eletrônicos prevê a determinação dos métodos de verificação, como ensaios, inspeções, análise e revisão de projeto. O cronograma de ensaios de pirotécnicos previsto que faz parte do relatório técnico também é uma forma de preparação das avaliações.
SP 2.2 Conduzir avaliações especializadas	Atividades dos blocos 1, 2 e 3 das Figuras A2 e A3.	As atividades de verificação dimensional, eletrônicos e pirotécnicos prevêm a condução das análises contra os requisitos (saídas).
SP 2.3 Analisar dados das avaliações especializadas	Relatórios (saídas) das Figuras A2 e A3.	Os relatórios de não conformidade são registros de saídas de problemas em componentes para inspeção dimensional previsto no procedimento de MNC e fluxograma de inspeção, bem como a reavaliação no processo de verificação de eletrônicos e pirotécnicos documentadas nos relatórios.
SG 3 Verificar os produtos selecionados	O atendimento às práticas específicas corresponde à evidência de atendimento deste objetivo específico.	Todas as práticas específicas (SP) foram atendidas.
SP 3.1 Realizar Verificação	Atividades dos blocos 1, 2 e 3 das Figuras A2 e A3, bem como os componentes verificados (saídas dos blocos 1, 2 e 3 das Figuras A2 e A3).	As atividades de verificação dos componentes podem ser comprovadas nos relatórios de verificação dimensional, de eletrônicos e pirotécnicos.
SP 3.2 Analisar os resultados de verificação	Relatórios de verificação (saídas de todas as atividades das Figuras de A1 a A3) e requisitos a serem comprovados (entradas de todas as atividades das Figuras de A1 a A3).	A aceitação ou não dos componentes verificados são registrados após análise dos resultados nos relatórios técnicos.

9.2 ANÁLISE DO PROCESSO DE INTEGRAÇÃO DE PRODUTOS

Para o mapeamento do processo de Integração de Produtos, todos os objetivos e práticas específicas do modelo CMMI foram atendidos, conforme o Quadro 10.

Quadro 10- Evidência de atendimento do processo de integração

Objetivos e práticas específicas do CMMI	Evidência do atendimento	Comentários
SG1 Preparar para a Integração do Produto	O atendimento às práticas específicas corresponde à evidência de atendimento deste objetivo específico.	Todas as práticas específicas (SP) foram atendidas.
SP 1.1 Determinar a seqüência de integração	As atividades das Figuras A4 a A12 representam a seqüência de integração, que é por sua vez, entregue ao cliente por meio do plano de integração e testes.	As datas que foram realizadas as atividades são registradas no plano de integração e testes apesar da seqüência ser definida de forma diferente (por itens). Portanto, o mapeamento feito conforme datas contribui para uma revisão do plano, apesar de ser entregue como um requisito de cliente.
SP 1.2 Estabelecer o ambiente para a integração do produto	Para cada atividade das Figuras de A4 a A12 estão determinados nos mecanismos, especificando equipamentos, dispositivos, etc. As saídas das Figuras de A4 a A12 correspondem aos registros e verificações no plano de integração e testes, que é uma documentação de entrada.	Estes mecanismos correspondem ao painel elétrico para realização dos testes da rede elétrica, contendo fontes de tensão, lâmpadas, botões conectores, comutadores, voltímetro (M-02 da Figura A6, bloco 1). Torquímetro para ajuste dos parafusos nas empenas e motor, clinômetro para ajuste de ângulo da empenas, gabarito de trilho para montagem das sapatas de encosto no motor, etc.
SP 1.3 Estabelecer procedimentos e critérios para integração do produto	Os controles das Figuras de A4 a A12 correspondem aos procedimentos, requisitos de segurança, tolerâncias, desenhos e restrições para todas as atividades.	Os procedimentos da integração da rede elétrica são determinados passo a passo, bem como restrições quanto à conexão de componentes, tolerâncias de medidas como voltagem e corrente elétrica, requisitos de segurança para operação de componentes e restrições de segurança para operadores (óculos de segurança, pulseira, pulseiras e jaquetas de dissipação estática).
SG 2 Garantir a compatibilidade da interface	O atendimento às práticas específicas corresponde à evidência de atendimento deste objetivo específico.	Todas as práticas específicas (SP) foram atendidas.
SP 2.1 Rever as descrições de interface para integridade	As interfaces são determinadas pelos desenhos indicados nos controles das atividades 1 e 2 da Figura A8, 2 da Figura A9, 1 da Figura A11 e 2 da Figura A12.	Plano de integração e testes contém figuras ilustrativas dos desenhos de interface, como por exemplo, a interface entre o motor S31 e porta-empenas; motor S30 e porta empenas; entre os parafusos, arruelas e sapatas de encosto; entre o porta-empenas, empenas e o conjunto parafusos/arruelas/sapatas; o motor S30 e <i>motor adapter</i> .
SP 2.2 Gerenciar as interfaces	Informações disponíveis no plano de integração e testes com o controle por meio de listas dos principais componentes e respectivas revisões dos desenhos. (controles da Figuras de A4 a A12).	Para cada atividade de integração é previsto os desenhos de interface aplicáveis, de forma a se confrontar com a lista e respectiva revisão disponível.
SG 3 Montar o produto e entregá-lo	O atendimento às práticas específicas corresponde à evidência de atendimento deste objetivo específico.	Todas as práticas específicas (SP) foram atendidas.
SP 3.1 Confirmar a disponibilidade dos componentes para integração	Entradas e saídas de todas as atividades das Figuras de A4 a A12.	Os planos contem a lista de componentes, registros de dados referenciados como SN (<i>Serial Number</i>)
SP 3.2 Montar os componentes	Saídas das Figuras de A4 a A12.	Estas saídas estão representadas por SN (<i>Serial Number</i>) e à medida que os componentes são montados os SN de diferentes componentes vão somando-se uns aos outros como na Figura A8 da montagem do motor S31 e empenas.
SP 3.3 Avaliar os componentes montados	Os registros, verificações e componentes em todas as saídas das Figuras de A4 a A12.	Registro como voltagem e corrente para avaliação dos testes elétricos são representados na saída dos blocos 1, 2, 3 e 4 da Figura A6, ângulo de incidência das empenas da saída do bloco 3 da Figura A8, por exemplo.
SP 3.4 Embalar e entregar o produto	Realizado em site operacional.	O processo de validação fornece a qualificação dos <i>containers</i> para transporte.

9.3 ANÁLISE DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO

Para o mapeamento do processo de Validação, todos os objetivos e práticas específicas do modelo CMMI foram atendidos, conforme o Quadro 11.

Quadro 11 - Evidência de atendimento do processo de validação

Objetivos e práticas específicas do CMMI	Evidência do atendimento	Comentários
SG 1 Preparar para validação	O atendimento às práticas específicas corresponde à evidência de atendimento deste objetivo específico.	Todas as práticas específicas (SP) foram atendidas.
SP 1.1 Selecionar os produtos para validação	O plano de qualificação está em todas as Entradas dos blocos das Figuras de A13 a A26. Restrições e requisitos em todos os controles dos blocos das Figuras de A13 a A26. Métodos de validação referenciados em todos os mecanismos.	Lista de componentes e materiais, e desmembramento gráfico do veículo inseridos no plano de qualificação; além da identificação de sistemas e subsistemas. A definição dos métodos está inserida dentro do plano de qualificação, mas em todas as figuras, os controles indicam os mecanismos de métodos.
SP 1.2 Estabelecer o ambiente para validação	Os mecanismos para os métodos de todas as atividades da Figura A20 incluem a interface de ferramentas de ensaios com os produtos, assim como as atividades da Figura A21, assim como a validação de interfaces das atividade 4 da Figura A15, desdobrada na Figura A16, atividade 5 da Figura A18, atividade 4 da Figura A19, atividade 2 da Figura A23, atividade 3 da Figura A25 e 4 da Figura A26.	Mecanismos de ensaios incluem os laboratórios e sua infra-estrutura, como por exemplo, laboratório de banco de ensaios hidropneumáticos, metrologia linear, ensaios dinâmicos, pirotécnica, ensaios estruturais estáticos, propriedades de massa.
SP 1.3 Estabelecer os procedimentos e critérios para validação	Os desenhos, normas técnicas e especificações técnicas estão nos controles das Figuras de A13 a A26.	Regras gerais para concepção, projeto e fabricação do VSB-30, especificação de condições ambientais, especificação do foguete, plano de garantia do produto, especificação de compatibilidade eletromagnética, desenho do conjunto PIR, ignitor, iniciador, suporte de fixação do PIR, propulsor S30 e S31 equipado.
SG 2 Validar o produto e componentes	O atendimento às práticas específicas corresponde à evidência de atendimento deste objetivo específico.	Todas as práticas específicas (SP) foram atendidas.
SP 2.1 Realizar a validação	As saídas das Figuras de A13 a A26 correspondem aos relatórios técnicos que comprovam o atendimento.	Relatórios de ensaio hidráulico de aceitação do envelope-motor, de queima de propelente, de tiro em banco do propulsor equipado S31, de aceitação de baterias, de aceitação do módulo de comutação de energia, hidráulico do PIR.
SP 2.2 Analisar os resultados da validação	O relatório de qualificação, que são as saídas das Figuras de A13 a A26, pelo organismo de certificação de produto é a comprovação da análise dos resultados.	O VSB-30 foi certificado em outubro de 2009 por outra instituição aeroespacial.

9.4 ANÁLISE DO REFINAMENTO DOS MAPEAMENTOS

O mapeamento do processo de validação foi apresentado ao organismo certificador, que homologa o veículo de sondagem VSB-30, para confirmação das atividades desempenhadas.

Aquele organismo informou que as saídas de alguns subprocessos são entradas de outros, como por exemplo, as saídas dos subprocessos de validar desempenho e validar interfaces são entradas do subprocesso de validar operacional.

Foi salientado também que a utilização da metodologia traz benefícios ao processo de validação uma vez que permite um melhor gerenciamento dos requisitos de sistema em relação aos subsistemas, pois a forma matricial atualmente utilizada não deixa clara a relação entre o sistema e subsistema, apesar de comprová-los através dos subsistemas, mas de maneira indireta.

Outro benefício observado foi que a utilização do mapeamento aplicado ao VSB-30 também pode ser útil na aplicação de outros foguetes com o mesmo perfil de missão, como por exemplo, foguetes de treinamento, VS-30 e VS-40.

Da mesma forma foi apresentado o mapeamento do processo de integração ao responsável da área que argumentou a necessidade de aplicar denominações sem detalhes, pois há um entendimento de que se poderia utilizar o mapeamento para as atividades de novas versões do veículo de sondagem VSB-30.

As áreas envolvidas no processo de verificação confirmaram as etapas apresentadas no mapeamento, porém com a ressalva de que os ensaios de impedância e sensibilidade de pirotécnicos são considerados ensaios ambientais e não funcionais e, que o restante está de acordo com a idéia discutida anteriormente (PINHEIRO, 2009).

9.5 ANÁLISE DOS PROCESSOS QUE NÃO ATENDERAM AO MODELO CMMI

Esta subseção apresenta os mapeamentos propostos dos processos de gerenciamento de requisitos, desenvolvimento de requisitos e soluções técnicas, que são os processos da engenharia do VSB-30 que não atendem os objetivos e práticas específicas do modelo CMMI.

9.5.1 Mapeamento do Processo de Desenvolvimento de Requisitos.

A Figura 23 é o diagrama macro do processo de desenvolvimento de requisitos.

Identificam-se na figura suas entradas, que são as necessidades e expectativas dos

stakeholders que serão transformadas em requisitos validados como saída, que por sua vez são as entradas para o processo de Soluções Técnicas.

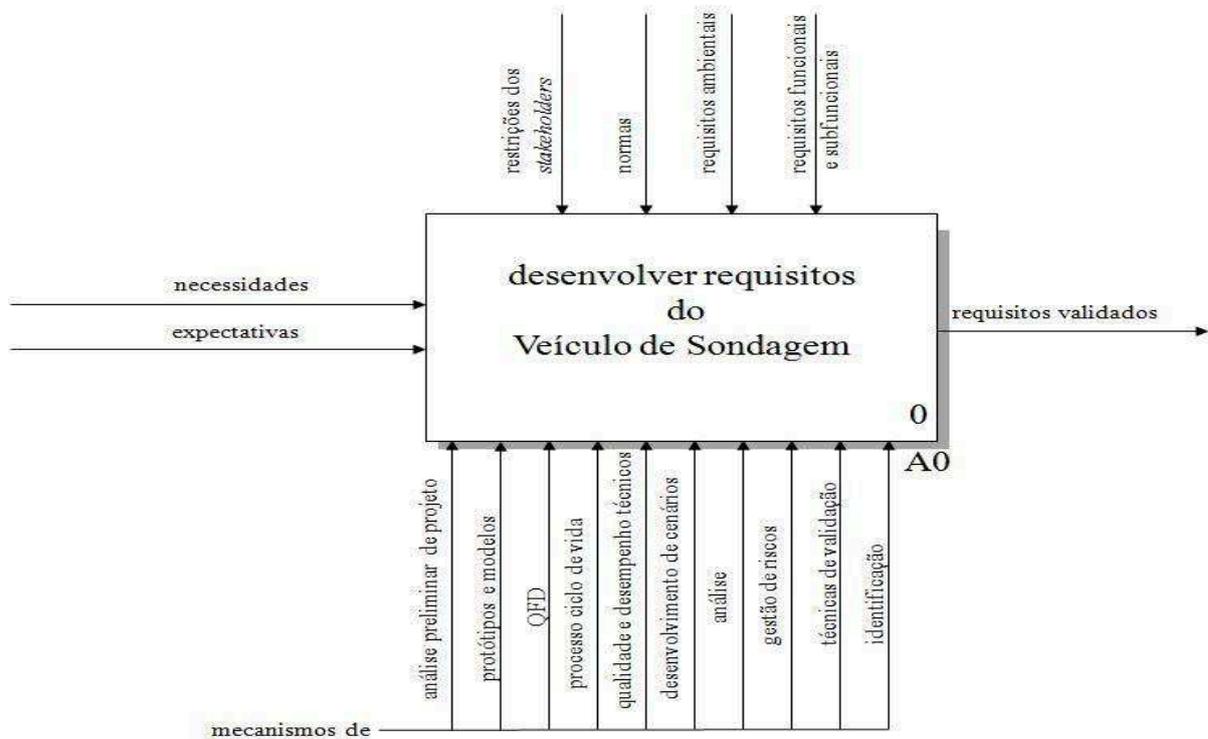


Figura 23 - Diagrama A0 do desenvolvimento de requisitos

Os controles são representados pelas restrições declaradas pelos *stakeholders*, as normas identificadas que não são declaradas pelos *stakeholders*, requisitos ambientais (como por exemplo, para laboratórios, ensaios ou infra-estrutura da tecnologia da informação) e requisitos funcionais e subfuncionais. Estes controles serão alocados nos controles dos blocos que representam os objetivos e práticas específicas desse processo.

Os mecanismos são representados por ferramentas para obtenção dos requisitos como as pessoas que realizam análise preliminar de projeto, *Quality Function Deployment (QFD)* que mapeia a necessidade dos *stakeholders* em parâmetros técnicos, e os protótipos e modelos.

Na figura acima também são identificados os mecanismos para identificação do processo de ciclo de vida do produto; para identificação da qualidade e desempenho técnicos; para desenvolvimento de cenários onde se inclui restrições quanto à funcionalidade e ambiente operacionais do produto; para análise da funcionalidade do produto; mecanismos para gestão de riscos sobre a concepção operacional e funcionalidade; mecanismos para validação dos requisitos; e mecanismos para identificação de requisitos-chave e para medidas de desempenho.

A Figura 24 é o desdobramento da Figura 23 para a área de processo de desenvolvimento de requisitos e corresponde aos três objetivos específicos estabelecidos pelo CMMI representados pelas frases verbais dos blocos do diagrama: desenvolver requisitos do cliente (SG1), desenvolver requisitos do produto (SG2), e analisar e validar requisitos (SG3). O SG1 é formado pelas seguintes práticas específicas: Obter as necessidades (SP 1.1) e Desenvolver os requisitos do cliente (SP 1.2). Estas duas práticas são “fundidas” porque a ferramenta IDEF0 permite o desdobramento de um bloco somente para 3, 4, 5 ou 6 blocos.

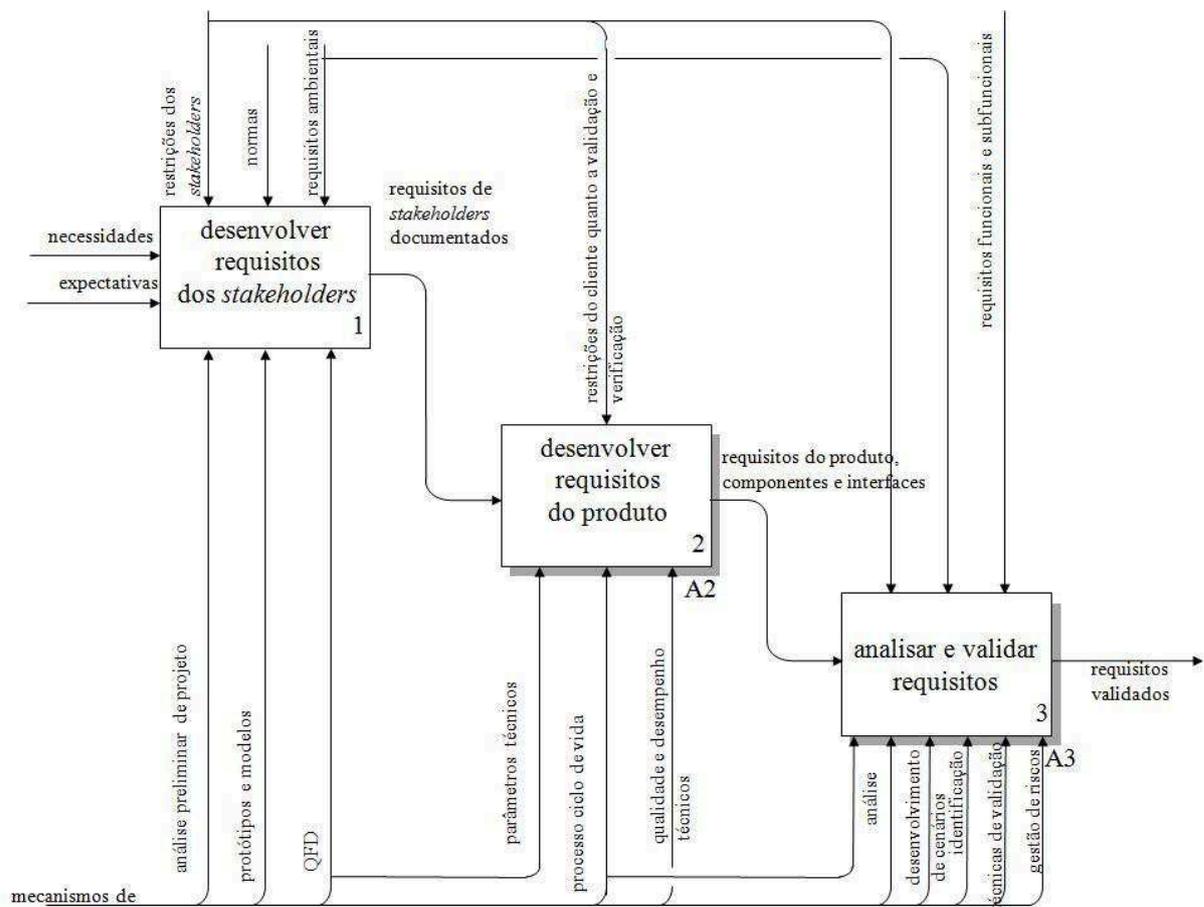


Figura 24 - Desdobramento do Diagrama A0 do desenvolvimento de requisitos

O bloco 1 transformará as necessidades e expectativas dos *stakeholders* (entradas) em requisitos dos *stakeholders* documentados (saídas). Os controles e mecanismos foram comentados na figura anterior. O bloco 2 transformará requisitos dos *stakeholders* documentados nos requisitos de produto, componentes e interface. O controle de restrições dos *stakeholders* no bloco 1 se desdobrará no controle de restrições dos *stakeholders* quanto à verificação e validação, que é o controle do bloco 2. O mecanismo QFD do bloco 1 se desdobrará em mecanismo de parâmetros técnicos do bloco 2.

A Figura 25 é o desdobramento do SG2 da Figura 24, e é composto pelas seguintes práticas específicas: Estabelecer os requisitos do produto e componentes (SP 2.1), Alocar os requisitos dos componentes (SP 2.2) e Identificar os requisitos de interface (SP 2.3). As entradas, saídas, controles e mecanismos seguem o mesmo raciocínio da aplicação anterior.

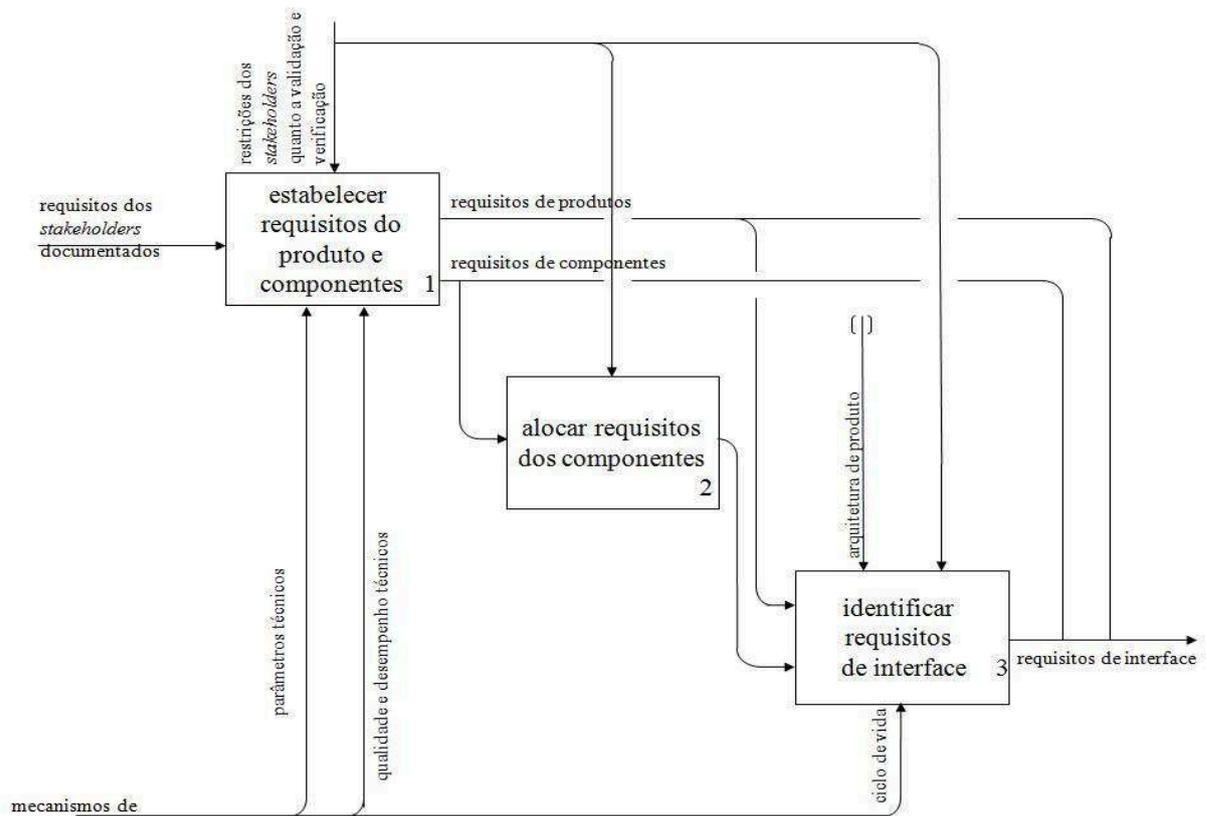


Figura 25 - Desdobramento do subprocesso de desenvolvimento de requisitos do produto

Os requisitos dos *stakeholders* documentados (entrada do bloco 1) são transformados nos requisitos de produto e de componentes. Os requisitos de componentes serão alocados (saída do bloco 2) e em conjunto com os requisitos do produto serão a entrada do bloco 3, para serem somados aos requisitos de interface como saída. O controle “arquitetura do produto” do bloco 3 é oriundo do processo soluções técnicas.

O SG3 da Figura 24 é desdobrado, conforme a Figura 26, em: Estabelecer os conceitos e cenários operacionais (SP 3.1), Estabelecer a definição de funcionalidade requerida (SP 3.2), Analisar os requisitos (SP 3.3), Analisar os requisitos para obter equilíbrio (SP 3.4) e Validar os requisitos (SP 3.5).

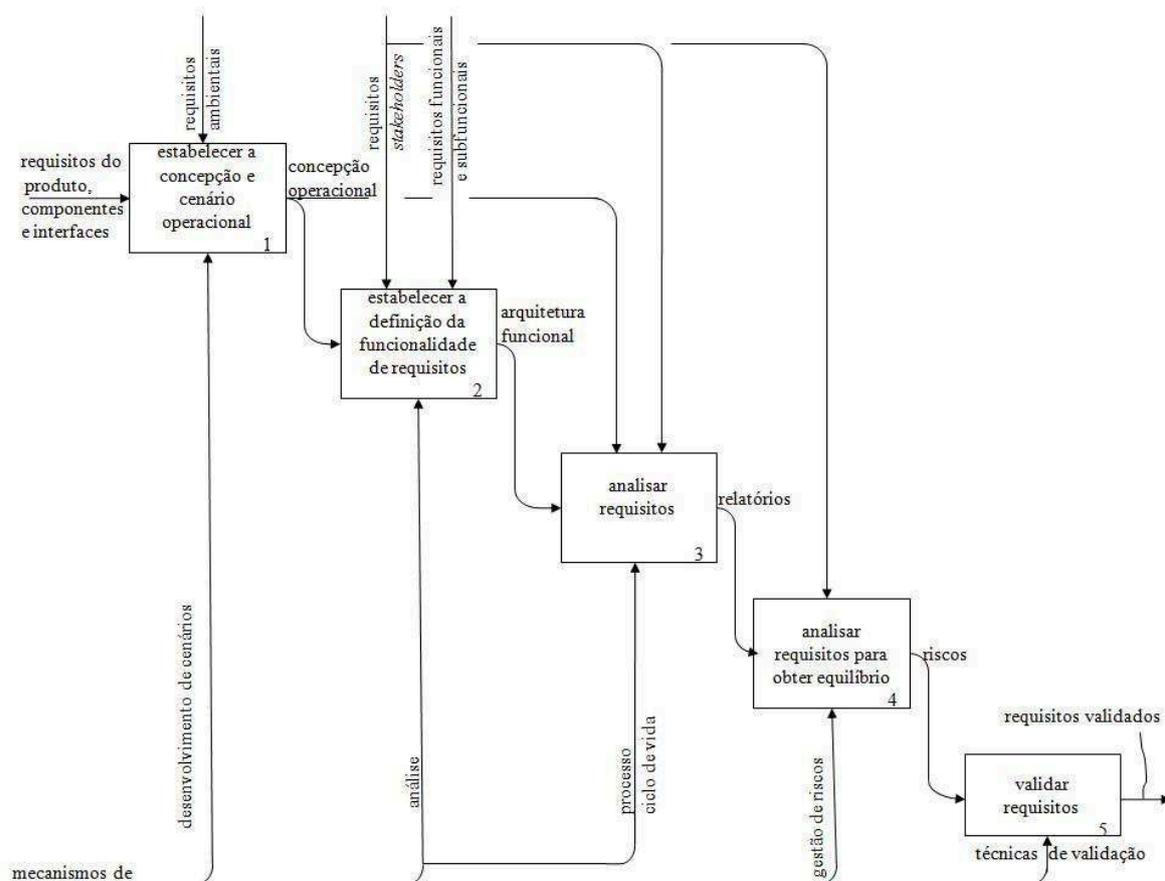


Figura 26 – Desdobramento do subprocesso de análise e validação de requisitos

Este diagrama transforma sequencialmente os requisitos do produto, componentes e interface na concepção operacional, na arquitetura funcional, nos relatórios que identificam falhas, requisitos-chave, medidas de desempenho, nos riscos relativos aos requisitos e, nos requisitos validados.

Os diagramas foram apresentados ao entrevistado e comentou, após análise, que os processos não foram implementados no VSB-30 e que considera uma boa prática. Foi comentado também que a análise dos requisitos já está sendo utilizada na redefinição das redes elétricas do VLS, e pode ser verificada na revisão preliminar de projeto do mesmo.

Ficou como sugestão considerar o controle “normas” (Figuras 23 e 24), como podendo ser uma combinação de requisitos normativos e regulamentares.

9.5.2 Mapeamento do Processo de Gerenciamento de Requisitos.

Este mapeamento foi apresentado ao entrevistado em conjunto com o processo de desenvolvimento de requisitos e foi enfatizado que quando se faz um ensaio de um sistema do VSB-30, não se tem uma rastreabilidade clara de que os requisitos do cliente estão sendo comprovados. Isto foi uma crítica feita no processo de certificação do VSB-30. Portanto, os processos de gerenciamento de requisitos e desenvolvimento de requisitos, utilizando o mapeamento apresentado, auxiliam na determinação da rastreabilidade de requisitos.

A Figura 27 é o diagrama correspondente à área de processos de gerenciamento de requisitos e corresponde ao único objetivo específico que é o SG 1 para Gerenciar requisitos, composto pelas seguintes práticas específicas: Obter o entendimento dos requisitos (SP 1.1), Obter o comprometimento para com os requisitos (SP 1.2), Gerenciar mudanças de requisitos (SP 1.3), Manter uma rastreabilidade de requisitos (SP 1.4), e Identificar inconsistências entre o projeto e os requisitos (SP 1.5).

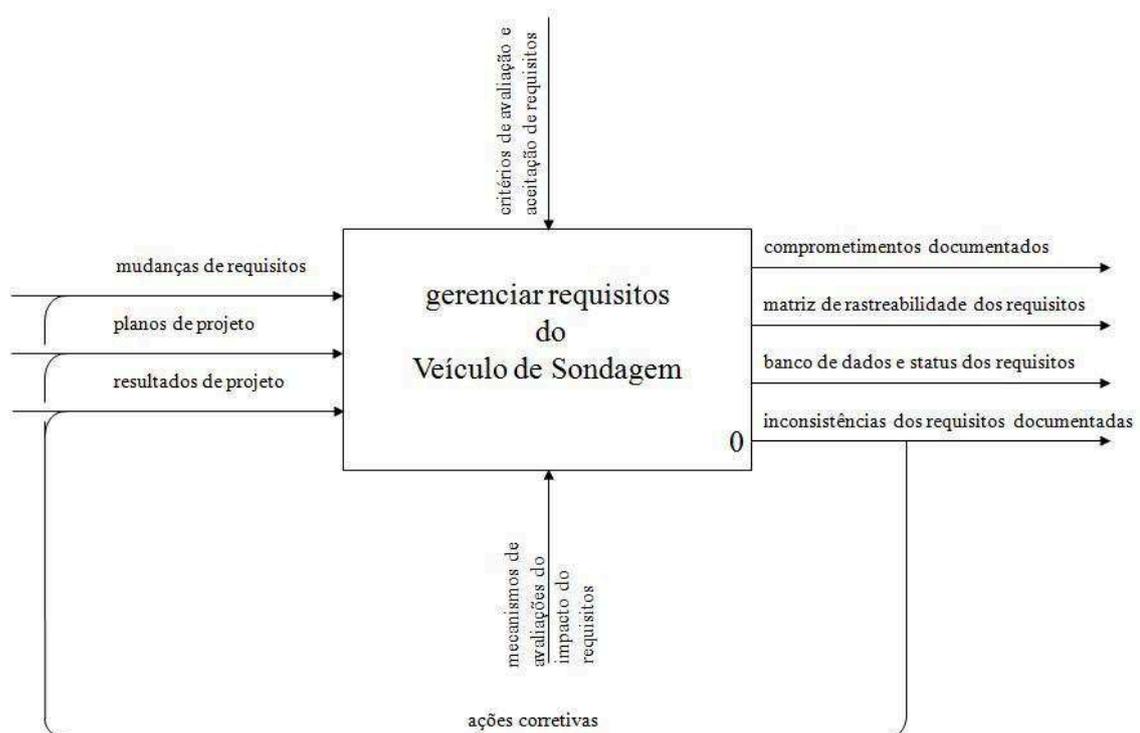


Figura 27 - Diagrama A0 de gerenciamento de requisitos

Nesta figura todas as práticas específicas foram representadas por somente um diagrama.

As mudanças de requisitos, os planos e resultados dos projetos são gerenciados contra critérios de avaliação e aceitação de requisitos e como mecanismo, utiliza-se de recursos como um sistema de monitoramento de requisitos para a avaliação de impacto dos requisitos, tendo como saídas os comprometimentos documentados quanto aos requisitos e mudanças,

bem como um banco de dados e status dos requisitos, uma matriz de rastreabilidade dos requisitos de forma a monitorá-los e, por fim, inconsistências dos requisitos documentadas. Outra saída são as ações corretivas dessas inconsistências para que as entradas da Figura 27 sejam revistas.

9.5.3 Mapeamento do Processo de Soluções Técnicas.

O mapeamento da área de Solução técnica foi apresentado aos entrevistados que comentaram que intuitivamente é lógico e indagaram sobre a aplicação do mesmo para os componentes e não somente ao processo, e compreenderam que a aplicação da metodologia IDEF0 não se limita somente aos desdobramentos apontados, mas que se necessário poder-se-ia desdobrar cada diagrama de blocos ao nível mais baixo de hierarquia necessário, incluindo em nível de detalhes de componentes

A Figura 29 é o desdobramento da Figura 28, formado pelos três objetivos específicos, que são: Selecionar soluções para os componentes (SG 1), Desenvolver o projeto (SG 2) e Implementar o projeto do produto (SG 3).

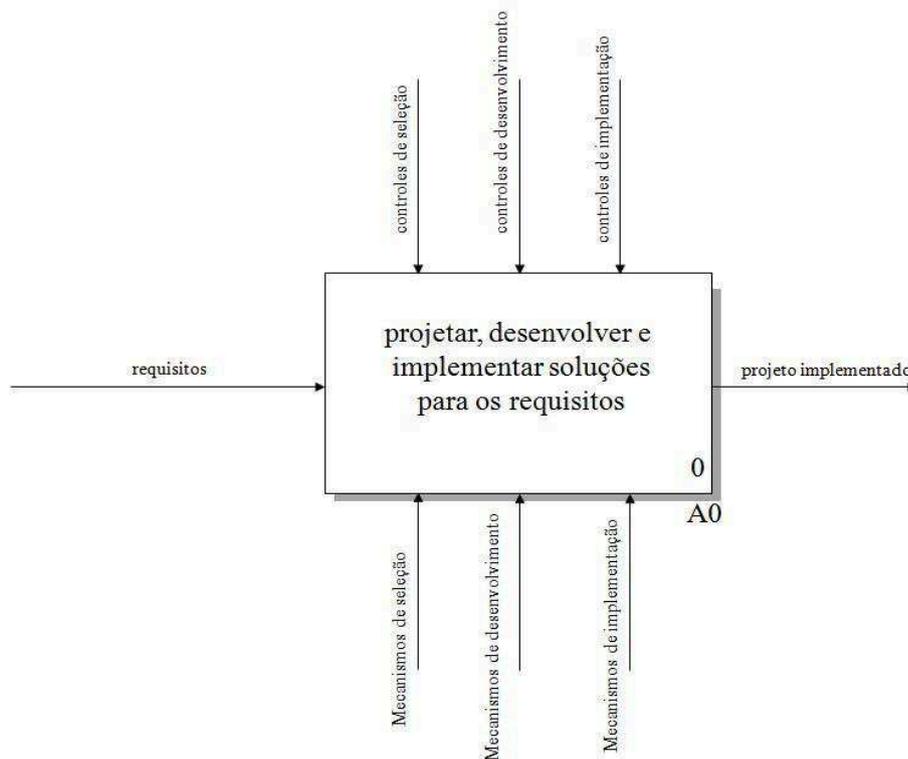


Figura 28 - Diagrama A0 das Soluções Técnicas

A Figura 29 apresenta também o SG 1, que é composto pelas práticas específicas de Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção (SP 1.1) e Selecionar soluções para os componentes (SP 1.2); e o SG3, que é composto pelas práticas específicas de Implementar o projeto (SP 3.1) e Desenvolver a documentação de apoio do produto (SP 3.2).

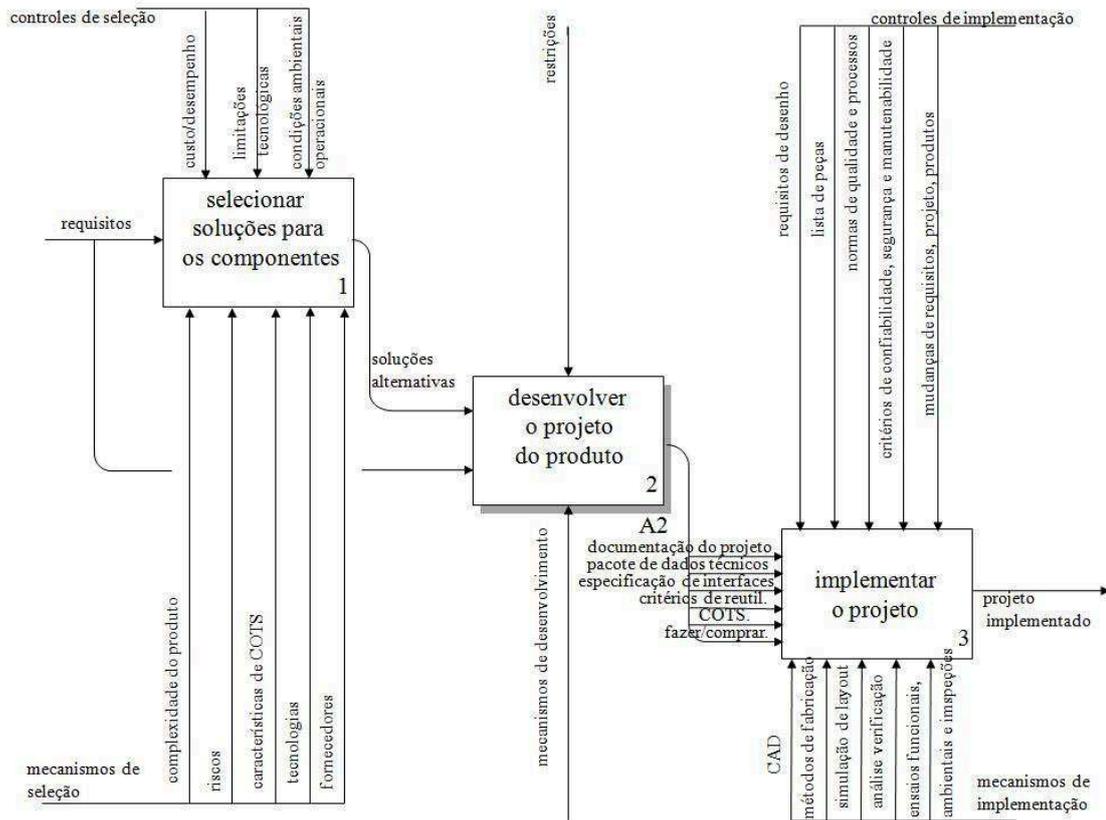


Figura 29 - Desdobramento do Diagrama A0 das Soluções Técnicas

A entrada do bloco 1 corresponde aos requisitos validados do processo de desenvolvimento de requisitos. Os mecanismos de seleção correspondem às identificações da complexidade do produto, de riscos, de características de itens de prateleiras (COTS), de evolução de tecnologias e de fornecedores. Os controles para que as soluções alternativas (saídas) sejam balanceadas correspondem às restrições de custos (de desenvolvimento, aquisição, apoio, etc.) e de desempenho, às limitações tecnológicas e às condições operacionais e ambientais.

As entradas do bloco 3 correspondem ao projeto escolhido, como a documentação do projeto, pacote de dados técnicos, especificações de interfaces, critérios de reutilização de componentes, análise de se fazer ou comprar e escolha dos itens de prateleira. Para que o projeto seja implementado (saída) é necessário controles como requisitos de desenhos, listas

de peças, normas de qualidade e processos, critérios de segurança, manutenibilidade e confiabilidade, e mudanças de requisitos, projetos e produtos.

Os mecanismos do bloco 3 são recursos utilizados como CAD, métodos de fabricação, simuladores de *layout*, mecanismos de análise de verificação e mecanismos de ensaios funcionais, ambientais e de inspeções.

O único objetivo específico desdobrado foi o SG2, conforme Figura 30, pois é composto por 4 práticas específicas: Projetar o produto ou componente (SP 2.1), Estabelecer um pacote de dados técnicos (SP 2.2), Projetar interface utilizando critérios (SP 2.3) e Realizar análises de se fazer, comprar ou reutilizar (SP 2.4).

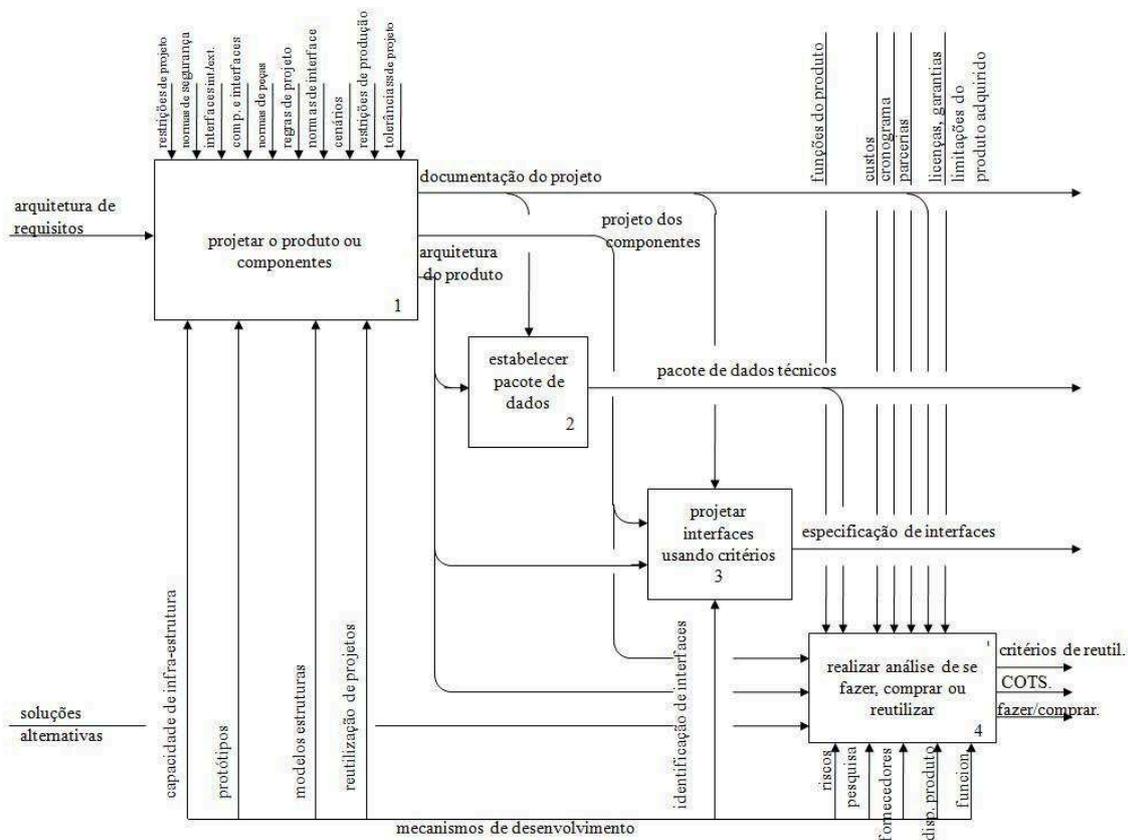


Figura 30 - Desdobramento do subprocesso de desenvolvimento do projeto do produto

A arquitetura de requisitos (entrada do bloco 1) é transformada na documentação do projeto, no projeto dos componentes e na arquitetura do produto, considerando controles como: restrições de projeto, normas de segurança, interfaces internas e externas, regras para componentes e interfaces, normas de peças, regras de projeto, normas de interface, cenários, restrições de produção e tolerâncias de projeto.

Os mecanismos do bloco 1 são a infra-estrutura disponível, protótipos, modelos estruturais e reutilização de projetos.

O bloco 2 tem como entrada a arquitetura do produto, que baseada na documentação do projeto define um pacote de dados técnicos como saída.

O bloco 3 tem como entradas, a arquitetura do produto e o projeto dos componentes. Considerando o mecanismo de identificação de interfaces e o controle de documentação do projeto, a saída determinada é a especificação de interfaces.

O bloco 4 tem como entradas as soluções alternativas, o projeto dos componentes e a arquitetura do produto. Os controles são as funções do produto, custos, cronogramas, parcerias, documentação do projeto, pacote de dados técnicos, licenças, garantias e limitações de produto adquirido. Os mecanismos de redução de riscos, de pesquisa de mercado, de fornecedores, de disponibilidade de produtos e da funcionalidade completam a figura acima para determinar os critérios de reutilização, da análise de se fazer ou comprar, e das diretrizes para se escolher itens de prateleiras.

Seguindo os conceitos Bertrand e Fransoo (2002) os mapeamentos apresentados são classificados como **empírico-descritivos**, pois cada mapeamento descreve adequadamente as relações que possam existir na realidade e leva ao entendimento do processo que está acontecendo.

9.6 DERIVAÇÃO DE MÉTRICAS

Uma vez analisado o mapeamento dos processos e sua comparação com o modelo ideal foram propostas métricas baseadas nos diagramas IDEF0, onde as métricas de produtos são derivadas da relação entre as saídas em relação aos controles e, as métricas de processos são derivadas da relação entre as saídas e entradas ou entre as saídas e mecanismos, como por exemplo, tempo, produtividade e riscos programáticos (NASA, 2007). As métricas de qualidade são métricas definidas pelo controle da qualidade que requerem verificações e ações corretivas para controle das mesmas. O Quadro 12 são exemplos de métricas de engenharia de sistemas:

Quadro 12 - Métricas propostas para cada área de processo

Processos	Métricas de Produto	Métricas de Processo	Métricas de qualidade
1. Gerenciamento e Desenvolvimento de Requisitos	1.1 Falhas de requisitos 1.2 Requisitos-chave <i>versus</i> cronograma 1.3 Requisitos funcionais 1.4 Medidas de desempenho <i>versus</i> atividades de desempenho do desenvolvimento 1.5 Funções críticas <i>versus</i> desenvolvimento de componente	1.1 Requisitos identificados Requisitos aprovados <i>versus</i> Requisitos finalizados 1.2 Números de novos requisitos ou requisitos mudados <i>versus</i> tempo 1.3 Riscos associados aos requisitos	1.1 Instabilidade de requisitos
2. Soluções Técnicas	2.1 Funcionalidade 2.2 Segurança 2.3 Acessibilidade 2.4 Tecnologias em uso <i>versus</i> novas tecnologias 2.5 Padronização 2.6 Tolerâncias de projeto 2.7 Compatibilidade eletromagnética 2.8 Interfaces <i>versus</i> ciclo de vida do produto	2.1 Dados de defeitos <i>versus</i> itens de prateleira qualificados 2.2 Desenhos de engenharia planejados <i>versus</i> desenhos entregues 2.3 Mitigações de riscos 2.4 Projetos escolhido <i>versus</i> soluções alternativas 2.5 especificações planejadas <i>versus</i> finalizadas	2.1 Propostas de mudanças de engenharia em processo <i>versus</i> pedidos de mudanças de engenharia
3. Verificação	3.1 Teste funcional com variação de temperatura 3.2 Verificação de não acendimento de pirotécnicos 3.3 Números de defeitos <i>versus</i> números esperados 3.4 Confiabilidade	3.1 Números de requisitos testados satisfatoriamente 3.2 Requisitos de produto sujeitos à verificação 3.3 Defeitos ainda em aberto e fechados 3.4 Números de defeitos <i>versus</i> fase do ciclo de vida 3.5 Tempo ou taxa de preparação <i>versus</i> tempo ou taxa esperado	3.1 Processamentos de problemas <i>versus</i> Relatórios de falhas
4. Integração do Produto	4.1 Massa estimada <i>versus</i> medida 4.2 Ângulos de incidência 4.3 Comprimento estimado <i>versus</i> medido 4.4 Resistência média dos iniciadores 4.5 Desvio mínimo de desempenho 4.6 Consistência das interfaces por toda vida do produto 4.7 Configuração recebida <i>versus</i> configuração esperada	4.1 Número de componentes integrados 4.2 Número de interfaces testadas 4.3 Número de ensaios testados	4.1 Taxa de entrega e sua variação
5. Validação	5.1 Manutenibilidade 5.2 Intercambiabilidade 5.3 Tolerância à falha 5.4 Vida útil 5.5 Medições e desempenhos atuais para uso pretendido ou necessidade operacional	5.1 Números de requisitos operacionais determinados pelos <i>stakeholders</i> sujeitos à validação 5.2 Números de componentes que passam por validação	5.1 Requisitos funcionais aprovados <i>versus</i> verificados

Dentro as métricas propostas para a área de validação duas foram consideradas de importância relevantes, segurança e cumprimento da missão, podendo adotar duas métricas: número de requisitos de segurança atendidos *versus* número de requisitos e número de requisitos atendidos da missão *versus* número de requisitos total da missão.

A relevância está no fato de que se possa atender em plenitude os requisitos da missão, mas não atender os requisitos de segurança; e atender em plenitude os requisitos de segurança, mas não atender a missão.

A área de soluções técnicas tem interesse e considera importante a aplicação de métricas, mas relevou a dificuldade de se coletarem dados e justificativas para obtenção deles. Considerou

então uma métrica para controle de documentos e outra métrica combinada que é função do tempo de queima de motor, volume de recursos gastos com o programa e massa do VSB-30. A área de gerenciamento de requisitos e desenvolvimento de requisitos sugeriu como métrica de processos, o número de requisitos validados em relação ao número de requisitos do cliente documentados e, como métrica de produto, o número de requisitos documentados em relação às normas regulamentares.

9.7 ANÁLISES DE MATURIDADE E CAPABILIDADE

9.7.1 Análise de capacidade

Em termos de capacidade, os processos de verificação, integração e validação da engenharia de sistemas do veículo de sondagem VSB-30 possuem nível 3 cada um (PHILLIPS *et al.*, 2006), conforme Quadro 5, pois seguem as normas organizacionais da instituição aeroespacial.

Contudo, a proposta da presente pesquisa visa estabelecer métricas para gerenciar quantitativamente as áreas de processos, nível 4 de capacidade, segundo Phillips *et al.* (2006), pois é um fator que permite visualizar o desempenho de subprocessos.

Um nível 4 de capacidade permite melhorias na qualidade dos processos de verificação, integração e validação do veículo de sondagem VSB-30, conforme definido por Greenspun (2004), Stevens *et al.* (1998) e Hauser e Katz (1998).

Para os processos de gerenciamento de requisitos, desenvolvimento de requisitos e soluções técnicas, o nível de capacidade de cada um corresponde ao nível 0 (incompleto), pois os processos são parcialmente realizados, ou seja, um ou mais objetivos específicos do processo não são atendidos em relação ao modelo CMMI (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Recomenda-se então a utilização dos diagramas representados nas Figuras de 23 a 30 para que os objetivos específicos dos processos de gerenciamento de requisitos, desenvolvimento de requisitos e soluções técnicas sejam atendidos, atingindo um nível de capacidade 1, ou seja, processo realizado; e posteriormente, a implementação do planejamento e monitoramento do processo para que atinja o nível de capacidade 2, ou seja, gerenciado.

Por fim, para atingir o nível 3, os processos devem ser institucionalizados de acordo com as normas organizacionais do IAE.

Seguindo os níveis de capacidade da IAQG (2009), os processos são definidos e aplicados (nível 2), mas não aplicado em todos os lugares da organização.

9.7.2 Análise de maturidade

Segundo Stevens *et al.*(1998), um nível 3 de maturidade é de um modo geral equivalente aos níveis de definição de uma ISO 9001. Mutafelija e Stromberg (2003) afirmam que as normas ISO 9001 e o CMMI são compatíveis.

Desta forma entende-se que a maturidade corresponde ao estágio III (Esclarecimento) da matriz de Crosby (1986), conforme Quadro 1 do Capítulo 2, pois a organização possui uma coordenadoria da qualidade, representada pela alta direção, com todas as avaliações necessárias incorporadas (FELICIO, 2008).

Para o modelo da NBR ISO 9004, o nível de maturidade corresponde a uma abordagem estável e formal do sistema, conforme Quadro 2 (ABNT, 2000).

Comparando com o nível de maturidade definido por Stevens *et al.*(1998), para Phillips *et al.*(2006), o nível de maturidade corresponde ao nível 3, ou seja, definido. Porém, considerando o processo de gerenciamento de requisitos, que não atende ao CMMI, o nível de maturidade da organização aeroespacial é 1 (Inicial), conforme Quadro 6 do Capítulo 4, porque este processo em específico tem que ter um nível de capacidade 2 para que se tenha, pelo menos, um nível de maturidade 2 (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Para atingir o nível de maturidade 2, é necessário que a capacidade do processo de Gerenciamento de Requisitos atinja o nível 2 em conjunto com áreas de processos que não foram avaliadas nessa dissertação que são: Gestão da Configuração, Planejamento do Projeto, Monitoramento e Controle do Projeto, Gestão de Contrato com Fornecedores, Medição e Análise, e Garantia da Qualidade do Produto e do Processo.

10 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo geral analisar os processos de gerenciamento e desenvolvimento de requisitos, soluções técnicas, verificação, integração e validação usando a ferramenta IDEF0 aplicada ao modelo CMMI em uma organização brasileira de desenvolvimento de um veículo de sondagem de dois estágios (VSB-30).

O objetivo geral foi subdividido em três objetivos específicos com o propósito de conduzir o processo da dissertação. Visando facilitar o entendimento dos comentários, recomendações e conclusões, estes objetivos são listados a seguir:

1. Mapear os processos existentes de engenharia do VSB-30 utilizando a ferramenta IDEF0;
2. Comparar os processos mapeados com o modelo CMMI e analisar os mesmos utilizando a ferramenta IDEF0;
3. Propor métricas para os processos de forma a torná-los parte de um sistema gerenciado quantitativamente.

O primeiro objetivo foi atendido conforme descreve o Capítulo 8 e o APÊNDICE A - Diagramas IDEF0 das áreas de processos de verificação, integração e validação. Os processos de gerenciamento de requisitos, desenvolvimento de requisitos e soluções técnicas não foram mapeados por meio do IDEF0, pois não existiam processos sistematizados conforme o modelo CMMI, de acordo com análises durante entrevistas.

Desta forma, atendendo ao segundo objetivo, os processos mapeados foram comparados com o modelo CMMI por meio dos Quadros 9, 10 e 11 do Capítulo 9. Como os processos de verificação, integração e validação atenderam aos objetivos e práticas específicas do CMMI, os mapeamentos aplicados ao modelo CMMI foram propostos para os processos de gerenciamento de requisitos, desenvolvimento de requisitos e soluções técnicas, conforme as subseções 9.5.1, 9.5.2 e 9.5.3, respectivamente.

Por fim, o terceiro objetivo foi atendido por meio da Seção 9.6, onde a proposta de métricas foi apresentada para todos os processos.

As maiores contribuições deste trabalho são os mapeamentos dos processos de engenharia do VSB-30.

A representação dos diagramas como revisões nos projetos de produtos e gerenciamento de riscos identificados nas atividades do processo Soluções Técnicas auxiliam o desenvolvimento de sistemas complexos.

Os controles e saídas de todos os diagramas auxiliam o gerenciamento dos documentos e registros de programas espaciais durante o ciclo de vida do produto; o atendimento ao modelo CMMI permite uma análise dos níveis de maturidade e capacidade dos processos e, todas as atividades dos diagramas IDEF0 permitem a fácil identificação de métricas. Tudo isso contribui com o aprimoramento da qualidade e atendimento às normas sobre garantia da qualidade.

Os diagramas contribuem para a implementação da abordagem de processos no ciclo de vida do produto e o atendimento às normas de ciclo de vida de programas espaciais, permitindo a identificação de fluxos de informações, inter-relações entre áreas técnicas e os clientes, e estabilidade dos processos, uma vez que são padronizados.

As análises dos diagramas dos processos de engenharia de sistemas do VSB-30 geram benefícios como um melhor gerenciamento de requisitos de sistemas em relação aos subsistemas, a aplicação em foguetes de treinamento e versões atuais do VSB-30 e a garantia da rastreabilidade dos requisitos do cliente quando se realiza uma atividade.

Recomenda-se aplicar trabalhos futuros do modelo em outros grupos de áreas como Gestão de Projetos, onde outras áreas de processos do CMMI são utilizadas para avaliar as melhorias que se desejam implementar; assim como o grupo de processos de apoio (Figura 8); bem como a implementação do presente trabalho em auditorias de sistemas de gestão da qualidade tendo como ferramenta o mapeamento dos requisitos necessários para verificação da conformidade dos mesmos.

REFERÊNCIAS

3SL Cradle SYS. © 3SL 2009. Disponível em: <<http://www.threesl.com/pages/products/sys.php>>. Acesso em: 12 set. 2009.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Capacidade brasileira de acesso ao espaço. **Espaço Brasileiro**, 2007. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br>>. Acesso em: 1 nov. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9004**: sistemas de gestão da qualidade: diretrizes para melhorias de desempenho. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000**: sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2005.

BERTALANFFY, v. L. **Teoria geral dos sistemas**: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 3. ed. Petrópolis: VOZES, 2008. 360 p.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modeling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, Eindhoven, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/0144-3577.htm>>. Acesso em: 17 out. 2009.

BLANCHARD, B. S. Introduction to systems engineering. In: ____ **System engineering management**. 4. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008. Disponível em: <http://media.wiley.com/product_data/excerpt/51/04701673/0470167351.pdf>. Acesso em: 21 maio 2009. cap. 1.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento. **Relatório da investigação do acidente ocorrido com o VLS-1 V03, em 22 de agosto de 2003, em Alcântara, Maranhão**. São José dos Campos, 2004. 130 p. Disponível em: <http://www.aeb.gov.br/area/PDF/VLS-1_V03_Relatorio_Final.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2009.

CARVALHO, H. C. Entrevista: Himilcon de Castro Carvalho, diretor de Política Espacial e Investimentos Estratégicos da Agência Espacial Brasileira (AEB). **Defesa@net**, jul. 2006. Seção Exclusivo. Disponível em: <<http://www.defesanet.com.br/space/himilcon.htm>>. Acesso em: 15 set. 2009.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento**. 2. ed. Rio de Janeiro: JOSÉ OLYMPIO, 1986. 327 p. Tradução do título original *Quality is free* 1979. Traduzido por Áurea Weissenberg.

DEFENSE ACQUISITION UNIVERSITY Quality Management Roadmap, 2005. Disponível em: <<https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=23254&lang=en-US>> .Acesso em: 06 abr. 2008

DEPARTMENT OF DEFENSE. **DEFENSE ACQUISITION GUIDEBOOK**: Quality Estados Unidos da América, 2004. cap. 4.4.7. Disponível em: <https://akss.dau.mil/dag/GuideBook/IG_c4.4.7.asp>. Acesso em: 26 maio 2009.

DEPARTMENT OF DEFENSE. Systems Management College. **Systems engineering fundamentals**. Fort Belvoir, 2001. 222 p. Disponível em: <<http://www.dau.mil/pubs/pdf/SEFGuide%2001-01.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2009.

DiORIO, L.J. The proven way. **Quality Progress**, v. 36, n. 9. 2003. Disponível em: <http://vnweb.hwwilsonweb.com/hww/results/external_link_maincontentframe.jhtml?_DARG S=/hww/results/results_common.jhtml.42>. Acesso em: 20 out. 2009.

DORE, E. R. et al. **Proposta para requisitos operacionais** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fernandoamanciofas@ifi.cta.br> em 6 nov. 2008.

DORE, E. R. **Re: MIP** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fernandoamanciofas@ifi.cta.br> em 3 abr. 2009.

DURANTE, E. **Enviando email: 528-000000A4001 PVQ-VSB30. PLANO VERF QUALIF ENVIADO 02 06 05doc.doc** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fernandoamanciofas@ifi.cta.br> em 17 abr. 2009.

ESTEFAN, J. A. **Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies** Pasadena: Jet Propulsion Laboratory: California Institute of Technology, 2008. 70 p. Disponível em: <http://www.omg.sysml.org/MBSE_Methodology_Survey_RevB.pdf>. Acesso em: 26 maio 2009.

FEIGENBAUM, A. V. **Total Quality Control**. 3 ed. Singapore: McGRAW HILL INTERNATIONAL EDITIONS. 1988. 851 p.

FELICIO, D. **Implantação de um sistema de gestão da qualidade: estudo de caso em uma organização pública de pesquisa e desenvolvimento**. 2008. 137f. Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté, 2008.

FERNANDES, J. H. **RIPP, Inspeção** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fernandoamanciofas@ifi.cta.br> em 01 abr. 2009.

FORTESCUE, P.W.; STARK, J.P.W.; E SWINERD G.G. **Spacecraft systems engineering**. 3. ed. Chichester: JOHN WILEY & SONS LTD. 2003. 678 p.

GARVIN, D. Competing on the Eight Dimensions of Quality. **Harvard Business Review**, 1987, p. 101-109.

GERKES, M. Application of systems engineering in quality assurance. In: FÉDÉRATION INTERNATIONALE D'INFORMATION ET DE DOCUMENTATION, 48., 1996, Graz. **Proceedings...Aslib Proceedings**, 1998. v.50, n.7, p. 141-153.

GREENSPUN, R. J. **Introduction to Systems Engineering: A Launchspace Professional Training Course**. Maryland: Launchspace Training, 2004.

HAUSER, J. R.; KATZ, G. M. **Metrics: you are what you measure**. [S.I.]: MIT, 1998. Disponível em: <<http://web.mit.edu/hauser/www/Papers/Hauser-Katz%20Measure%2004-98.pdf>> Acesso em: 28 maio 2009. 28 p.

IAQG (Estados Unidos da América) (Org.). **Supplier Selection and Capability Assesement matrices**. Disponível em: <http://www.sae.org/servlets/registration?PORTAL_CODE=IAQG&OBJECT_PKG=iaqg.businessClasses&OBJECT_TYPE=SCMHGeneral&PAGE=viewFlash>. Acesso em: 02 fev. 2009.

IGRAFX.D. Disponível em: <<http://www.igrafx.com/>>. Acesso em: 12 set. 2009.

KNOWLEDGE BASED SYSTEMS, INC. University Dr. East College Station. Disponível em: <<http://www.kbsi.com/>>. Acesso em: 12 set. 2009.

LOUREIRO, Geilson. **A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**. Loughborough: Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University, 1999. 530 p. Thesis (Ph.D.).

MARANHÃO, M.; MACIEIRA, M.E.B. **O processo nosso de cada dia: modelagem de processos de trabalho**. 1. ed. Rio de Janeiro: QUALITYMARK, 2008. 250 p.

MASON-JONES, R.; BERRY, D.; NAIN, M. M. A systems engineering approach to manufacturing systems analysis. **Integrated Manufacturing Systems**. Birmingham v. 9, n. 6, p. 350-365, 1998. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/Insight/viewPDF.jsp?contentType=Article&Filename=html/Output/Published/EmeraldFullTextArticle/Pdf/0680090603.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2009.

MICROSOFT OFFICE ONLINE. © 2009 Microsoft Corporation. Disponível em:
<<http://office.microsoft.com/pt-br/visio/FX100487861046.aspx>>. Acesso em: 12 set. 2009.

MUTAFELIJA, B.; STROMBERG, H. ISO 9001:2000 and CMMI synergy.
In: ___Systematic process improvement using ISO 9001:2000 and CMMI. 1. ed.
Norwood: Artech House Publishers, 2003.cap. 5.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **NASA: Systems engineering handbook** . Washington D.C, 2007. 360 p. Disponível em:
<<http://education.ksc.nasa.gov/esmdspacegrant/Documents/NASA%20SP-2007-6105%20Rev%201%20Final%2031Dec2007.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2009.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Integration definition for function modeling (IDEF0)**. Gaithersburg: Federal Information Processing Standards Publication, 1993. 128 p. Disponível em: <<http://www.idef.com/pdf/idef0.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2008.

NIWA, M.; MUNARETTO, L. A. C. Conformity assessment in the brazilian space program: a necessary discussion. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 19., 2007, Brasilia. **Proceedings...** Brasília: ABCM, 2007. p. 1-8.

PALMÉRIO, A. F. et al. The development of the VSB-30 sounding rocket vehicle. In: ESA SYMPOSIUM ON EUROPEAN ROCKET AND BALLOON PROGRAMMES AND RELATED RESEARCH, 16., 2003, St. Gallen. **Proceedings...** St. Gallen: ESA SP-530, 2003. p. 137-140.

PALMÉRIO, A. F. et al. Results from the first flight of the VSB-30 sounding rocket. In: ESA SYMPOSIUM ON EUROPEAN ROCKET AND BALLOON PROGRAMMES AND RELATED RESEARCH, 17., 2005, Sandefjord. **Proceedings...** Sandefjord.: ESA SP-590, 2005. p. 345-349.

PALMÉRIO, A. F. **Engenharia de sistemas** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fernandoamanciofas@ifi.cta.br> em 28 ago. 2009.

PHILLIPS, M. et al. **CMMI for development**. Pittsburgh, 2006. 1.2 v. 573 p. Disponível em:
<<http://www.sei.cmu.edu/publications/documents/06.reports/06tr008.html>>. Acesso em: 27 maio 2009.

PINHEIRO, A. **Mestrado Fernando IFI** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fernandoamanciofas@ifi.cta.br> em 22 set. 2009.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p.

SPINA, F. D. **Dissertação material** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <fernandoamanciofas@ifi.cta.br> em 23 jun. 2009.

STEVENS, R. et al. **Systems engineering: coping with complexity**. 5. ed. London: PRENTICE HALL, 1998. 374 p.

THOMPSON, D. Systems Engineering Applied To Total Quality Management. **The Institution of Electrical Engineers**. Londres, 1999. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=771499&isnumber=16718>>. Acesso em: 21 out. 2009.

U.S. AIR FORCE. Space & Missile Systems Center. **SMC systems engineering primer & handbook: concepts, processes, and techniques**. Estados Unidos da América, 2005. 351 p. 3. ed. Disponível em: <<http://www.sei.cmu.edu/programs/acquisition-support/publications/afprimer.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2009.

VALERIANO, D. L. **Gerenciamento estratégico e administração por projetos**. 1. ed. São Paulo: MAKRON BOOKS, 2001. 295 p.

WATSON, G. H. Gurus of quality: Feigenbaum's enduring influence. **QUALITY PROGRESS**, Stillwater, v. 38, n. 11, pp. 51-55, nov. 2005. Disponível em: <http://vnweb.hwwilsonweb.com/hww/results/esternal_link_maincontentframe.jhtml?_DARGS=/hww/results_common.jhtml.30>. Acesso em: 15 mai. 2009.

WIENDL, V. **Modelagem dos Processos do Ciclo de Vida de Produtos Complexos pelos Métodos IDEF3 e IDEFØ**. São José dos Campos: Dissertação de mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2009. 138p. Disponível em: <fernandoamancio@ifi.cta.br>. Acesso em: 26 fev. 2009.

APÊNDICE A - Diagramas IDEF0 das áreas de processos de Verificação, Integração e Validação

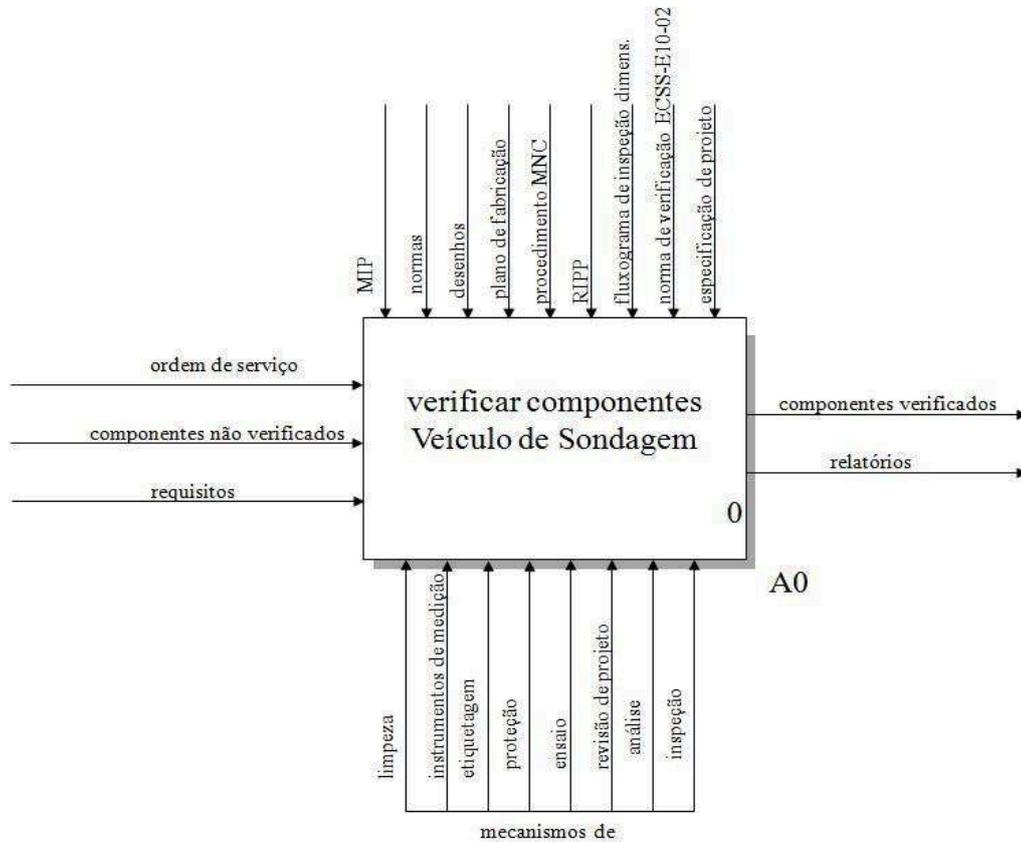


Figura A1- Diagrama A0 de verificação de componentes.

A Figura A2 é o desdobramento da primeira em 3 principais atividades de verificação, que são a verificação dimensional, a verificação de componentes eletrônicos embarcados e a verificação de pirotécnicos.

A verificação dimensional é a que possui mais controles e mecanismos para transformação da atividade; a verificação de componentes eletrônicos está baseada em uma proposta de adequação a normas da agência espacial europeia (ESA), e a verificação de pirotecnia está fundamentada na adoção de ensaios não destrutivos, ambientais e funcionais estabelecidos em normas como segurança de explosivos; requisitos de segurança para subsistemas eletro-explosivos e métodos de ensaios para sistemas espaciais; critérios para sistemas explosivos e dispositivos usados em veículos espaciais; métodos de ensaios ambientais e diretrizes de engenharia; critérios de projeto de veículos da NASA – ignitores de motores de foguete sólidos.

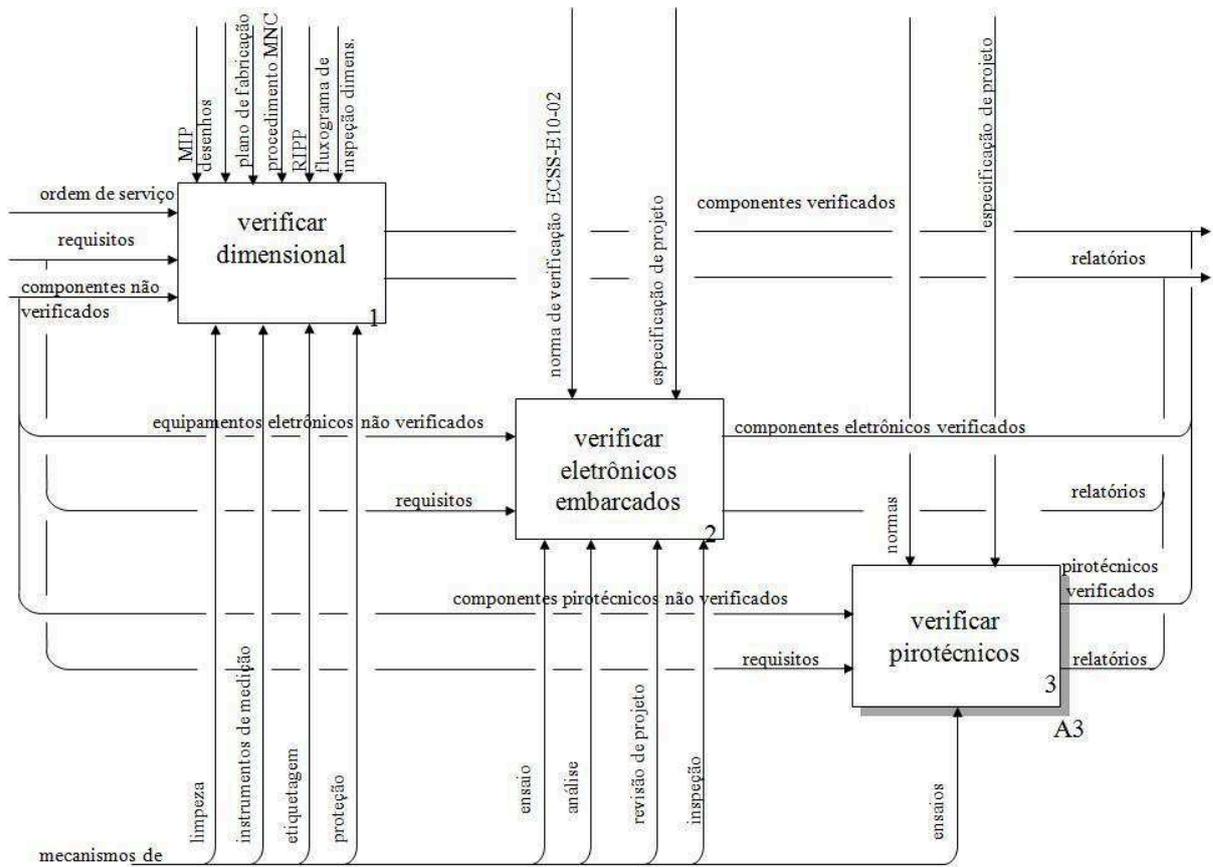


Figura A2 - Desdobramento do Diagrama A0 de verificação dos componentes.

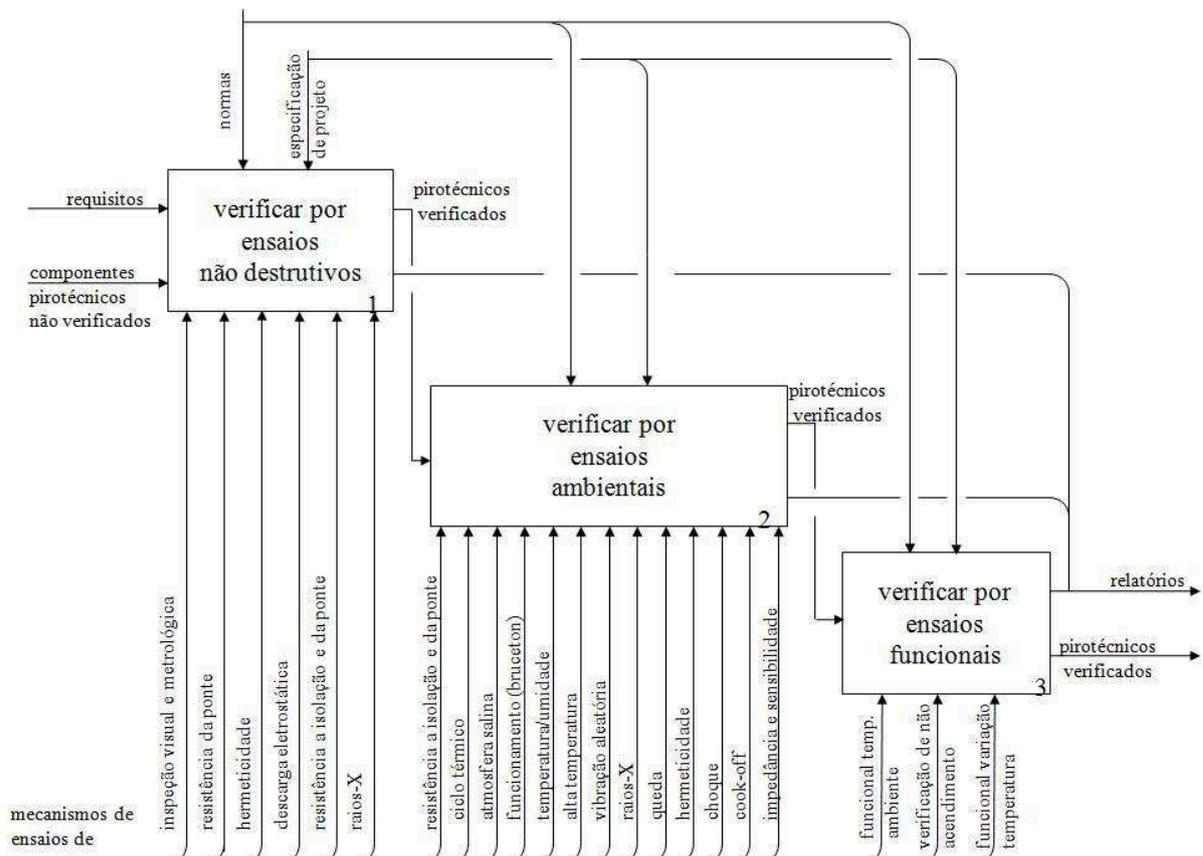


Figura A3 - Desdobramento do subprocesso de verificar pirotécnicos.

relações entre requisitos para considerações durante a gestão de mudanças e alocação de requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.1.2.2 Alocar os requisitos dos componentes (SP 2.2)

Os requisitos para os componentes incluem a alocação do desempenho do produto, restrições de projeto, ajuste, forma e função para atender requisitos e facilitar a produção (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: folhas de alocação de requisitos; alocação provisória de requisitos; restrições de projeto; requisitos derivados; relações entre requisitos derivados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em alocar os requisitos às funções; alocar os requisitos aos componentes; alocar os requisitos às restrições de projeto; documentar relações entre requisitos alocados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.1.2.3 Identificar os requisitos de interface (SP 2.3)

Interfaces entre funções (ou entre objetos) são identificadas. Interfaces funcionais podem direcionar o desenvolvimento de soluções alternativas. Requisitos de interface entre produtos ou componentes identificados na arquitetura do produto estão definidos. Elas são controladas como parte da integração de produtos e componentes, e é uma parte integral da definição da arquitetura (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são os requisitos de interface (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: identificar interfaces tanto externa e interna ao produto e desenvolver os requisitos para identificar interfaces (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.1.3 Analisar e validar os requisitos (SG 3)

Os requisitos são analisados e validados e uma definição da funcionalidade dos requisitos é desenvolvida. Análises são realizadas para determinar qual impacto o ambiente operacional pretendido terá na habilidade de satisfazer as necessidades, expectativas, restrições e interfaces dos *stakeholders* (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.1.3.1 Estabelecer a concepção e cenários operacionais (SP 3.1)

Um cenário é uma seqüência de eventos que podem ocorrer no uso do produto, que é usado para deixar explícito algumas das necessidades dos clientes. Em contradição, uma concepção operacional para o produto depende tanto da solução de projeto como de cenário (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: concepção operacional; instalação de produtos e componentes e concepção operacional, manutenção e apoio; concepção da disposição; casos utilizados; cronologia do cenário; novos requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: desenvolver a concepção operacional e de cenários que incluam funcionalidade, desempenho, manutenção, apoio e disposição conforme apropriado. Identificar e desenvolver cenários, consistentes com o nível de detalhe das necessidades, expectativas e restrições dos *stakeholders* na qual o produto ou componente é esperado operar; definir o ambiente na qual o produto e componente operarão, incluindo restrições; rever concepção operacional e de cenários para refinar e descobrir requisitos; desenvolver uma concepção operacional detalhada, como os produtos e componentes são selecionadas, que define a interação do produto, o usuário final, ambiente e que satisfaz as necessidades operacionais, de manutenção, suporte e disposição (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.1.3.2 Estabelecer a definição de funcionalidade requerida (SP 3.2)

A definição da funcionalidade, também chamada de análise funcional, é a descrição do que o produto irá fazer. Também pode incluir ações, seqüência, entradas, saídas, e outras

informações que comunicam a maneira de como o produto será usado (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: arquitetura funcional; diagramas de atividade; análise orientada ao objeto com serviços ou métodos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: analisar e quantificar a funcionalidade requerida por usuários finais; analisar requisitos para identificar divisões lógicas ou funcionais (sub-funções); dividir requisitos em grupos, baseados em critérios estabelecidos (funcionalidade, desempenho ou conexão similares), para facilitar e focar a análise de requisitos; considerar a seqüência de funções críticas inicialmente e durante o desenvolvimento do componente; alocar os requisitos do cliente a divisões funcionais, objetos, pessoas e elementos de apoio para apoiar a síntese de soluções; alocar requisitos funcionais e de desempenho para funções e subfunções (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.1.3.3 Analisar requisitos (SP 3.3)

À luz da concepção operacional e de cenários, os requisitos de certo nível da hierarquia do produto são analisados para determinar se eles são necessários e suficientes para atenderem os objetivos de um nível hierárquico superior de tal forma a fornecerem uma base de requisitos mais detalhada e precisa para os níveis mais baixos. À medida que os requisitos são definidos, a relação com níveis mais altos de requisitos e níveis mais altos de funcionalidade devem ser entendidos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: relatórios de falhas de requisitos; mudanças de requisitos propostas para resolver falhas; requisitos-chave; medidas de desempenhos técnicos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: analisar as necessidades, expectativas, restrições e interfaces externas para evitar conflitos e organizar em assuntos relacionados; analisar requisitos para determinar se eles satisfazem os objetivos hierárquicos mais altos; analisar requisitos para garantir que eles estejam completos, sejam praticáveis e verificáveis; identificar requisitos-chave que tenham uma forte influência no custo, cronograma, funcionalidade, risco ou desempenho; identificar medidas de desempenho que serão rastreados durante as atividades de desenvolvimento; analisar concepções operacionais e de cenários para refinar as necessidades dos clientes e descobrir novos requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.1.3.4 Analisar requisitos para obter equilíbrio (SP 3.4)

As necessidades e restrições dos clientes podem expressar custo, cronograma, desempenho, funcionalidade, componentes re-usáveis, manutenibilidade ou risco (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos é a avaliação de riscos relativos aos requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: usar modelos qualificados, simulações e prototipagem para analisar as necessidades e restrições dos *stakeholders*; desempenhar uma avaliação de risco sobre os requisitos e arquitetura funcional; examinar a concepção do ciclo de vida do produto para os impactos de requisitos sobre riscos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.1.3.5 Validar os requisitos (SP 3.5)

Organizações mais maduras desempenham esta atividade usando técnicas sofisticadas ampliando a base de validação como, por exemplo: análises, simulações, prototipagem e demonstrações (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são os registros e resultados de métodos de análise (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: analisar os requisitos para determinar o risco que o produto resultante não desempenhará apropriadamente em seu ambiente de utilização; explorar a adequação e preenchimento de requisitos por meio do desenvolvimento de representações do produto (protótipos, simulações, modelos, cenários, etc.) e pela obtenção do retorno dos *stakeholders* relevantes; avaliar o projeto à medida que cresce no contexto do ambiente de validação de requisitos para identificar questões de validação e expor necessidades não declaradas e requisitos de clientes (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.2 Área de processo de Solução Técnica

Esta área de processo é aplicável a qualquer nível da arquitetura do produto e para todos os produtos, componentes e processos do ciclo de vida relacionados ao produto, e é focada:

- na avaliação e seleção de soluções (algumas vezes referenciada como “abordagem de projeto”, “concepção de projeto” ou “projeto preliminar”) que satisfazem um grupo apropriado de requisitos alocados;
- no desenvolvimento de projetos detalhados para soluções selecionadas (detalhado no contexto de conter todas as informações necessárias para fabricação, codificação ou na implementação do projeto como produto ou componente);
- na implementação de projetos do produto ou componente (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Estas atividades apóiam umas às outras. Algum nível de projeto, às vezes bem detalhado, pode ser necessário para selecionar soluções. Protótipos ou pilotos podem ser usados como meios de obter conhecimento suficiente para desenvolver um pacote de dados técnicos ou um completo grupo de requisitos. O processo de ciclo de vida relacionado ao produto pode incluir a seleção e adaptação de processos existentes (inclusive processos padronizados) para uso tanto quanto para desenvolvimento de novos processos. Os processos relacionados com a Solução Técnica são os requisitos do produto e componentes do processo de Desenvolvimento de Requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.2.1 Selecionar soluções para os componentes (SG 1)

Requisitos-chave, problemas de projeto e restrições são estabelecidas para uso na análise de soluções alternativas. Características de arquitetura que fornecem uma base para melhoria do produto são consideradas. O uso de itens de prateleira é considerado levando-se em conta custo, cronograma, desempenho e risco. Um indicador de um bom processo de projeto é relativo ao projeto que foi escolhido depois de compará-lo e avaliá-lo contra soluções alternativas. Processos do ciclo de vida relacionados ao produto, como fabricação e entrega, estão entre as soluções adotadas (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.2.1.1 Desenvolver soluções alternativas e critérios de seleção (SP 1.1)

Soluções alternativas precisam ser identificadas e analisadas para permitir a seleção de uma solução balanceada pelo ciclo de vida do produto em termos de custo, cronograma e desempenho. Estas soluções estão baseadas nas arquiteturas do produto propostas que apontam qualidades críticas do produto e amplia um tempo de projeto de soluções exequíveis (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Soluções alternativas ampliam o alcance aceitável de custo, cronograma e desempenho. Os requisitos do produto são recebidos e usados com os problemas, restrições e critérios de projetos para desenvolver soluções alternativas. Critérios de seleção podem apontar custos (tempo, pessoas e dinheiro), benefícios (desempenho, capacidade e eficácia) e riscos (técnico, custo e cronograma) (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Considerações para soluções alternativas e critérios de seleção incluem as seguintes: custo de desenvolvimento, fabricação, aquisição, manutenção, apoio, etc.; desempenho; complexidade do produto e processos do ciclo de vida; robustez à operação do produto e condições de uso, modos de operação, ambientes e variações nos processos do ciclo de vida do produto; limitações tecnológicas; risco; evolução de requisitos e tecnologia; limitações e capacidades de usuários finais e operadores; características dos itens de prateleira (PHILLIPS *et al.*, 2006). Os resultados de trabalhos típicos são: relatórios de avaliação de novas tecnologias; soluções alternativas; critérios de seleção para soluções finais; relatórios de avaliação de itens de prateleira (PHILLIPS *et al.*, 2006) (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: identificar critérios de separação para selecionar um grupo de soluções alternativas para consideração; identificar tecnologias correntes em uso e novas tecnologias de produto para se obter vantagem competitiva; gerar soluções alternativas; obter uma alocação de requisitos para cada alternativa; desenvolver os critérios para selecionar a melhor solução alternativa; identificar candidatos a itens de prateleira que satisfazem aos requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Estes requisitos incluem: funcionalidade, desempenho, qualidade e confiabilidade; termos e condições de garantia para os produtos; risco; responsabilidade dos fornecedores (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.2.1.2 Selecionar soluções para os componentes (SP 1.2)

Selecionar os componentes do produto que melhor satisfaçam aos critérios estabelecidos para alocação de requisitos. Requisitos de nível mais baixo são gerados da alternativa selecionada e usados para projetar o componente do produto. Requisitos de interface entre os componentes são descritos funcionalmente em um primeiro momento. Descrições de interface física estão incluídas na documentação para interfaces aos itens e atividades externas ao produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A descrição das soluções e justificativas para seleção está documentada. A documentação evolui por todo desenvolvimento à medida que soluções e projetos detalhados são desenvolvidos e os projetos estão implementados. Manter um registro de justificativa é crítico para tomada de decisões a níveis inferiores (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: decisões e justificativas para seleção dos componentes; relações entre requisitos e componentes documentadas; soluções, avaliações e justificativas documentadas (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em (PHILLIPS *et al.*, 2006):

- avaliar cada solução alternativa/grupo de soluções contra os critérios de seleção estabelecidos no contexto da concepção da operação e cenários;
- desenvolver cenários de cronograma para operações do produto e interação do usuário para cada solução alternativa;
- baseado na avaliação de alternativas, avaliar a adequação dos critérios de seleção e atualizá-los se necessário;
- identificar e resolver problemas com soluções alternativas e requisitos;
- selecionar o melhor grupo de soluções alternativas que satisfaçam aos critérios selecionados;
- estabelecer os requisitos associados como o grupo de alternativas selecionadas como o grupo de requisitos alocados aos componentes;
- identificar as soluções para os componentes que serão reutilizados ou adquiridos;
- estabelecer e manter a documentação das soluções, avaliações e justificativas.

A.2.2 Desenvolver o projeto (SG 2)

Projetos de produtos ou componentes devem fornecer um conteúdo apropriado não só para sua implementação, mas também para outras fases do ciclo de vida como modificação, aquisição, manutenção e apoio logístico. A documentação de projeto fornece uma referência para apoiar o entendimento do projeto pelos *stakeholders* e apoiar mudanças de projeto tanto durante o desenvolvimento quanto nas fases seguintes do ciclo de vida do produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Uma descrição completa do projeto é documentada em um pacote de dados técnicos que incluem uma série de características e parâmetros como forma, ajuste, função, interface, características do processo de fabricação e outros (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.2.2.1 Projetar o produto ou componente (SP 2.1)

O projeto do produto consiste em duas grandes fases que podem se sobrepor em execução: o projeto preliminar e o projeto detalhado. O projeto preliminar estabelece as capacidades e arquitetura do produto, incluindo partes do produto, identificação dos componentes, as principais interfaces entre os componentes e interfaces externas. O projeto detalhado define integralmente a estrutura e capacidades dos componentes (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A definição da arquitetura é dirigida de um grupo de requisitos desenvolvidos durante o processo de desenvolvimento de requisitos. Estes requisitos expressam os pontos de qualidade e desempenho que são críticos para o sucesso do produto. A arquitetura define os elementos estruturais e mecanismos de coordenação que atendem diretamente os requisitos ou apóiam a obtenção dos requisitos à medida que os detalhes do projeto do produto são estabelecidos. Arquiteturas podem incluir normas e regras de projeto que regem o desenvolvimento dos componentes e suas interfaces, bem como diretrizes para ajudar os desenvolvedores do produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Exemplos de tarefas para definição da arquitetura incluem:

- estabelecer as relações estruturais das partes e regras sobre as interfaces entre elementos dentro das partes, e entre as partes;
- identificar principais interfaces internas e todas as interfaces externas;
- definir mecanismos de coordenação (por exemplo, de *software* e *hardware*);
- estabelecer as capacidades de infra-estrutura e serviços;

- estabelecer regras de projeto e autoridades para tomada de decisão (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Durante o projeto detalhado, os detalhes da arquitetura do produto serão finalizados, os componentes estão completamente definidos e as interfaces estão completamente caracterizadas. Os projetos dos componentes podem ser otimizados para certas características de qualidade e desempenho. Os projetistas podem avaliar o uso de produtos antigos ou itens de prateleira para os componentes. Assim que o projeto evolui, os requisitos alocados aos níveis inferiores dos componentes são controlados para garantir que serão atendidos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: arquitetura do produto; projeto dos componentes (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: estabelecer e manter critérios contra os quais o projeto deve ser avaliado; identificar, desenvolver ou adquirir métodos de projeto apropriados para o produto como protótipos e modelos estruturais; garantir que o projeto segue padrões e critérios de projeto aplicáveis como normas de segurança; restrições de projeto como compatibilidade eletromagnética e integridade de sinal, limitações de produção e tolerâncias de projeto; garantir que o projeto segue os requisitos alocados; documentar o projeto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.2.2.2 Estabelecer um pacote de dados técnicos (SP 2.2)

Um pacote de dados técnicos fornece uma descrição abrangente do produto e componente à medida que é desenvolvido. O projeto é registrado em um pacote de dados técnicos que é criado durante o projeto preliminar para documentar a definição da arquitetura e é mantido durante o ciclo de vida do produto para registrar detalhes essenciais do projeto do produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Fornece também a descrição do produto ou componente que dá suporte a uma estratégia de aquisição ou aos processos do ciclo de vida. A descrição inclui a definição da configuração do projeto requerido e procedimentos para garantir adequação do desempenho do produto ou componente. Incluem desenhos, listas associadas, especificações, descrições de projeto, normas, requisitos de desempenho e detalhes de armazenamento, além da descrição de

solução de alternativas selecionadas que foram escolhidas para implementação (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Pode incluir as seguintes informações de acordo com o produto ou componente: descrição da arquitetura do produto; requisitos alocados; descrição dos componentes; descrição dos processos do ciclo de vida; características-chave do produto; características e restrições físicas requeridas; requisitos de interface; requisitos de materiais; requisitos de fabricação; os critérios de verificação usados para garantir que os requisitos foram atendidos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

O resultado de trabalho típico é o pacote de dados técnicos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: determinar o número de níveis de projeto e documentação; apoiar descrições detalhadas de projeto sobre os requisitos alocados do componente, arquitetura e projeto de níveis superiores; documentar o projeto no pacote; documentar a justificativa para decisões críticas tomadas ou definidas; revisar o pacote quando necessário (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.2.2.3 Projetar interface utilizando critérios (SP 2.3)

Os critérios para interface frequentemente refletem parâmetros críticos que devem ser definidos, ou ao menos serem investigados, para averiguar sua aplicabilidade. Estes parâmetros são peculiares ao tipo de produto e são associados com segurança, durabilidade e características críticas de missão (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: especificações de projeto de interface; documentos de controle de interface; critérios de especificação de interface; justificativa para selecionar o projeto de interface (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: definir os critérios de interface; identificar interfaces associadas com outros componentes; identificar interfaces associadas com itens externos; identificar interfaces entre componentes e os processos do ciclo de vida do produto; aplicar os critérios para alternativas de projeto de interface; documentar os projetos de interface selecionados e as justificativas para seleção (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.2.2.4 Realizar análises de se fazer, comprar ou reutilizar (SP 2.4)

Esta análise começa no projeto durante a primeira interação de projeto; continua durante o processo de projeto e completa com a decisão de desenvolver, adquirir ou reutilizar o produto. Fatores que influenciam esta decisão incluem: funções que o produto fornecerá e como estas funções se ajustaram ao projeto; disponibilidade de recursos e competências; custos de se adquirir versus desenvolvimento; datas de entrega e integração críticas; alianças estratégicas de negócios; pesquisa de mercado de produtos disponíveis, incluindo itens de prateleira; funcionalidade e qualidade dos produtos disponíveis; competências e capacidades de potenciais fornecedores; impacto sobre as competências essenciais; licenças, garantias, responsabilidades e limitações associadas com os produtos a serem adquiridos; disponibilidade do produto; questões de propriedade; redução de risco (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: critérios para projetar e reutilizar o componente; análise *make-or-buy*; diretrizes para escolher itens de prateleiras para os componentes (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: desenvolver critérios para reutilizar o projeto de componentes; analisar projetos para determinar se o produto deveria ser desenvolvido, reutilizado ou adquirido; analisar implicações de manutenção quando considerar adquirir itens adquiridos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.2.3 Implementar o projeto do produto (SG 3)

A implementação inclui ensaios de unidade dos componentes antes de enviá-los à integração do produto e o desenvolvimento da documentação do usuário final (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.2.3.1 Implementar o projeto (SP 3.1)

A implementação no nível superior da hierarquia do produto envolve a especificação de cada componente no próximo nível da hierarquia do produto. Esta atividade inclui a alocação, refinamento e verificação de cada componente e também a coordenação entre os vários esforços de desenvolvimento do componente (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Exemplos de características desta implementação incluem: dados são documentados; serviços são documentados; peças elétricas e mecânicas são fabricadas; processos de fabricação são colocados em operação; processos são documentados; plantas são construídas; materiais são produzidos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

O resultado de trabalho típico é o projeto implementado (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: usar métodos eficazes para implementar os componentes, como CAD e métodos de fabricação; atender a normas e critérios aplicáveis, como requisitos de desenhos, lista de peças padronizadas, peças fabricadas e normas de processos e qualidade; conduzir análise especializada para selecionar os componentes; desempenhar testes de componentes conforme apropriado, como ensaios funcionais, teste de inspeção de radiação e ensaios ambientais; revisar o componente conforme necessário (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Exemplos de critérios incluem a confiabilidade, segurança e manutenibilidade

A.2.3.2 Desenvolver a documentação de apoio do produto (SP 3.2)

Esta prática específica desenvolve e mantém a documentação que irá ser utilizada para instalar, operar e manter o produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: materiais de treinamento de usuários; manual de usuário; manual de operador; manual de manutenção; ajuda online (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: analisar os requisitos, projeto, produto e ensaios para garantir que os problemas que afetam a documentação de instalação, operação e manutenção estão identificados e resolvidos; usar métodos eficazes para desenvolver a documentação de instalação, operação e manutenção; atender a normas de documentação aplicáveis; desenvolver versões preliminares de documentação de instalação, operação e manutenção em fases iniciais do ciclo de vida do projeto para ser analisado pelos *stakeholders* relevantes; conduzir análises especializadas para documentação de instalação, operação e manutenção; revisar documentação de instalação, operação e manutenção (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3 Área de processo de verificação

A área de processo de verificação inclui a preparação para verificação, a atividade de verificação e a identificação de ação corretiva. A verificação inclui também a verificação do produto e trabalhos intermediários contra os requisitos selecionados, incluindo requisitos de cliente, produto e componentes do produto. Trata-se de um processo incremental porque ocorre durante o desenvolvimento do produto, começando com a verificação dos requisitos, prosseguindo pela verificação dos produtos resultantes e terminando na verificação do produto completo (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As áreas de processo de verificação e validação são similares, mas determinam diferentes pontos. A validação demonstra que o produto atenderá ao uso requerido, conforme fornecido ou conforme será fornecido, e por sua vez, a verificação declara se o produto reflete apropriadamente os requisitos especificados. Em outras palavras, verificação garante que foi construído corretamente e validação garante que foi construído a coisa certa (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.1 Preparar a verificação (SG 1)

Preparações preliminares são necessárias para garantir que as condições de verificação estão integradas nos requisitos, projetos, planos de desenvolvimento e cronogramas do produto ou componente. A verificação inclui a seleção, inspeção, testes, análises e demonstração de resultados. Os métodos de verificação incluem, mas não estão limitadas a, inspeções, análises por especialistas, auditorias, acompanhamentos, análises, simulações, testes e demonstrações. A preparação também envolve a definição de ferramentas de apoio, equipamentos de teste e software, simulações, protótipos e instalações (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.1.1 Selecionar os produtos para verificação (SP 1)

Os produtos são selecionados baseados na medida em que eles atendem aos objetivos e requisitos do projeto, e ao atendimento dos riscos do projeto. Os produtos a serem verificados incluem aqueles associados à manutenção, treinamento e serviços de apoio. A seleção de métodos de verificação começa tipicamente com a definição dos requisitos de produto e componentes para garantir que são verificáveis. A reavaliação deveria ser abordada por métodos de verificação para garantir que o retrabalho realizado sobre os resultados do produto não causem defeitos não identificados. Os fornecedores deveriam ser envolvidos nesta seleção para garantir que os métodos de projeto são apropriados para o ambiente dos fornecedores (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: listas de produtos selecionados para verificação; métodos de verificação para cada produto selecionado (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: identificar os produtos para verificação; identificar os requisitos a serem satisfeitos para cada produto selecionado; identificar métodos de verificação que estão disponíveis para uso; definir métodos de verificação a serem utilizados para cada produto selecionado; submeter para integração com o plano de projeto a identificação dos produtos a serem verificados, os requisitos a serem satisfeitos e os métodos a serem utilizados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.1.2 Estabelecer o ambiente para verificação (SP 1.2)

Um ambiente deve ser determinado para garantir que a verificação aconteça. O ambiente de verificação pode ser adquirido, desenvolvido, reusado, modificado ou uma combinação destes, dependendo das necessidades de projeto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Um tipo de ambiente requerido dependerá dos produtos selecionados para a verificação e dos métodos utilizados. Uma revisão especializada requer mais do que um pacote de materiais, revisores e a sala. Um ensaio do produto pode requerer simuladores, geradores de cenários, ferramentas de redução de dados, controle ambiental e interface com outros sistemas (PHILLIPS *et al.*, 2006).

O resultado de trabalho típico é o ambiente de verificação (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em identificar os requisitos e ambiente de verificação; identificar os recursos de verificação que estão disponíveis para reutilização e modificação; identificar

equipamentos de verificação e ferramentas; adquirir equipamentos de apoio e ambiente tais como equipamentos de ensaio e software (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.1.3 Estabelecer os procedimentos e critérios para verificação (SP 1.3)

Os critérios de verificação estão definidos para garantir que os produtos atendam os requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Exemplos de fontes para critérios de verificação incluem os seguintes: requisitos do produto e componentes; normas; políticas da empresa; tipo de ensaio; parâmetros de ensaio; parâmetros para compensação entre qualidade e custo de ensaio; tipo de produto; fornecedores; propostas e acordos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são os procedimentos de verificação e critérios de verificação (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: gerar um grupo procedimentos de verificação integrada para os produtos e produtos de prateleira, se necessário; desenvolver e refinar os critérios de verificação quando necessários; identificar os resultados esperados, quaisquer tolerâncias permitidas em observação, e outros critérios para satisfazer os requisitos; identificar qualquer equipamento e componentes ambientais necessários para apoiar a verificação (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.2 Realizar avaliações especializadas (SG 2)

Avaliações especializadas envolvem uma análise metódica dos produtos por especialistas para identificarem defeitos a serem eliminados e recomendar outras mudanças necessárias. Uma análise especializada é um método de verificação importante e implementada via inspeções e outros métodos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Uma análise especializada é primeiramente aplicada para os produtos desenvolvidos pelos projetos, mas pode ser também aplicada a outros produtos, como documentação e treinamento que são desenvolvidos tipicamente para grupos de apoio (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.2.1 Preparar avaliações especializadas (SP 2.1)

Atividade de análise especializada tipicamente inclui a identificação de grupos que serão convidados a participarem da análise para cada produto; identificar revisores-chave que deverão participar da análise para cada produto; preparar e recolher qualquer material que será necessária sua utilização durante as análises, tais como *check-lists* ou critérios de análise, e análises de cronogramas (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: cronograma de análise especializada; *Checklist* de análise especializada; critérios de entrada e saída para os produtos; critérios para requerer outra análise especializada; material de treinamento de análise especializada; produtos selecionados para serem analisados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: determinar que tipo de análise especializada será conduzida, como inspeções, ou outras; definir requisitos para coletar dados durante a análise; estabelecer critérios de entrada e saída de análise especializada; estabelecer e manter critérios para requerer outra análise especializada; estabelecer e manter listas de verificação para garantir que os resultados serão analisados consistentemente; desenvolver um cronograma de análise, incluindo datas para treinamento de análises e para quando o material para análise estará disponível; garantir que o produto satisfaz os critérios de entrada e saída antes da distribuição; distribuir o produto a ser analisado e suas informações para os participantes o mais cedo possível para permitir se preparem adequadamente para a análise; designar funções para análise especializada conforme apropriado; preparar para análise especializada por meio de análise de resultados antes de conduzir a análise especializada (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.2.2 Conduzir avaliações especializadas (SP 2.2)

Um dos propósitos de conduzir análise especializada é detectar e remover defeitos antecipadamente. Análises especializadas são desempenhadas à medida que os resultados estão sendo desenvolvidos e são estruturadas e não são uma análise de gestão (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Análises especializadas podem ser desempenhadas em resultados-chave de especificações, projeto, ensaio e atividades de implementação. O foco deveria ser sobre o resultado do

produto em análise e não na pessoa que o produziu. Quando problemas surgem durante as análises, eles devem ser comunicados ao desenvolvedor do resultado para correção (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Análises especializadas deveriam abranger as seguintes diretrizes: devem estar suficientemente preparadas, a condução deve ser gerenciada e controlada, dados suficientes e consistentes devem ser registrados (um exemplo é a condução de uma inspeção formal) e itens de ação devem ser registrados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são resultados de análises especializadas; problemas de análises especializadas; dados de análises especializadas (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: desempenhar as funções designadas na análise; identificar e documentar os defeitos e outros problemas dos resultados; registrar os resultados das análises, incluindo itens de ação; coletar dados de análises; identificar itens de ação e comunicar os problemas relevantes aos *stakeholders*; conduzir uma análise adicional se o critério definido indicar tal necessidade; garantir que os critérios de saída para análise é satisfeita (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.2.3 Analisar dados das avaliações especializadas (SP 2.3)

Analisar dados sobre preparação, condução e resultados de análises.

Os resultados de trabalhos típicos são os dados de análises; itens de ação de análises (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em registrar dados para preparação, condução e resultados das análises; armazenar os dados para referência e análise futuras; proteger os dados para garantir que os dados de análise não serão usados desapropriadamente; analisar os dados de análise.

Dados típicos são: nome do produto, dimensão do produto, composição da equipe de análise, tipo de análise, tempo de preparação por analista, tempo da reunião de análise, número de defeitos encontrados, tipo e origem do defeito encontrado e assim por diante. Informações adicionais devem ser coletadas como dimensão, fase de desenvolvimento, modos de operação examinados e requisitos sendo avaliados.

Exemplos de dados de análise que podem ser analisados incluem os seguintes: tempo ou taxa de preparação versus tempo ou taxa esperado; número de defeitos *versus* números esperados;

tipos de defeitos detectados; causas dos defeitos; impacto da resolução do defeito (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.3 Verificar os produtos selecionados (SG 3)

Os métodos de verificação, procedimentos e critérios são usados para verificar os produtos usando o ambiente apropriado. Atividades de verificação deveriam ser realizadas durante o ciclo de vida do produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.3.1 Realizar Verificação (SP 3.1)

Os resultados de trabalhos típicos são: resultados de verificação; relatórios de verificação; demonstrações (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: realizar a verificação contra seus requisitos; registrar os resultados das atividades de verificação; identificar itens de ação resultantes da verificação; documentar o método e procedimento correntes de verificação e desvios descobertos durante a sua realização (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.3.3.2 Analisar os resultados de verificação (SP 3.2)

Resultados atuais devem ser comparados com os critérios de verificação estabelecidos para determinar sua aceitação. Os resultados das análises são registrados como evidência de que a verificação foi realizada (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Para cada resultado, todos os resultados de verificação disponíveis são analisados adicionalmente para garantir que os requisitos foram atendidos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: relatórios de análise (estatísticas de desempenho, análise de causa de não conformidades, etc.); relatórios de desvios; pedidos de mudança de métodos, critérios e ambiente de verificação (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: comparar resultados atuais de esperados; identificar produtos que não atendem aos requisitos ou identificar problemas de ambientes de métodos, procedimentos, critérios e verificação; analisar os dados de verificação sobre defeitos; registrar todos os resultados das análises em um relatório; usar os resultados de verificação para comparar as medições e desempenho atuais com parâmetros técnicos de desempenho; fornecer informações sobre como os defeitos podem ser resolvidos (incluindo métodos, critérios e ambiente de verificação) e atuar com ações corretivas (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4 Área de processo de Integração de Produtos

Esta área de processo corresponde à integração de componentes do produto em componentes do produto mais complexo ou completo. O escopo deste processo é obter a integração completa do produto por meio da montagem progressiva de componentes do produto, em um estágio ou estágios complementares, de acordo com seqüência e procedimentos definidos de integração. Um aspecto crítico da integração de produto é o gerenciamento das interfaces interna e externa dos produtos e componentes para garantir a compatibilidade entre as interfaces (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.1 Preparar para a Integração do Produto (SG1)

A preparação para integração dos componentes do produto envolve o estabelecimento e manutenção de uma seqüência de integração, o ambiente para desempenhar a integração e procedimentos de integração (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.1.1 Determinar a seqüência de integração (SP 1.1)

Os componentes dos produtos que são integrados podem incluir aqueles que são parte do produto para ser entregue juntamente com equipamentos de testes, software de testes ou outros itens tais como instrumentos. Uma vez analisados testes alternativos e seqüências de montagem da integração, seleciona-se a melhor seqüência. A seqüência pode fornecer montagem incremental e avaliações de componentes que fornecem referências livres de problemas para incorporação de outros componentes assim que se tornam disponíveis, ou protótipos de componentes de alto risco. A seqüência deve ser harmonizada com a seleção de soluções e projeto do produto e componentes na área de Soluções técnicas (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Resultados típicos são: a seqüência da integração do produto; justificativa para selecionar ou rejeitar a seqüência de integração (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Subpráticas consistem em: identificar os componentes a serem integrados; identificar as verificações a serem desempenhadas durante a integração dos componentes; identificar seqüências alternativas da seqüência de integração de componentes; selecionar a melhor seqüência de integração; revisar periodicamente a seqüência conforme necessário; registrar a justificativa para as decisões feitas e deferidas (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.1.2 Estabelecer o ambiente para a integração do produto (SP 1.2)

O ambiente para integração do produto pode ser tanto adquirido como desenvolvido. Os requisitos de aquisição ou desenvolvimento do equipamento, software ou outros recursos deverão ser desenvolvidos. Estes requisitos são coletados quando implementar o processo associado com o Desenvolvimento de requisitos. Pode-se incluir o reuso de recursos da organização. A decisão de adquirir ou desenvolver está associado com a área de Soluções Técnicas. O ambiente requerido para cada passo da integração do produto pode incluir equipamentos de ensaio, simuladores (ocupando o lugar de componentes não disponíveis), partes de equipamentos reais e dispositivos de registro (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Resultados típicos são: ambiente para integração do produto verificado; documentação de apoio para o ambiente de integração do produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Subpráticas consistem em: identificar os requisitos para o ambiente de integração do produto; identificar critérios e procedimentos para o ambiente de integração do produto; decidir se faz ou compra o ambiente de integração de produto necessário; verificar com a área de processo

de fornecedores para maiores informações sobre a aquisição de peças para o ambiente de integração; desenvolver o ambiente de integração se um ambiente adequado não puder ser adquirido; manter o ambiente de integração por todo o projeto; dispor das partes do ambiente que não são de uso a longo prazo (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Para projetos complexos, o ambiente de integração pode ser um desenvolvimento principal. Como tal, deveria envolver planejamento do projeto, desenvolvimento de requisitos, soluções técnicas, verificação, validação e gerenciamento de riscos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.1.3 Estabelecer procedimentos e critérios para integração do produto (SP 1.3)

Procedimentos para integração dos componentes podem incluir números de interações incrementais a serem desenvolvidas e detalhes dos testes esperados, e outras avaliações a serem realizadas em cada estágio. Critérios podem incluir a disponibilidade de um componente para integração ou sua aceitabilidade (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Procedimentos e critérios para integração do produto apontam: nível de ensaio para construção de componentes; verificação de interfaces; desvio mínimo de desempenho; requisitos derivados para montagem e interfaces externas; substituição de componentes permitida; parâmetros de ambiente de ensaio; limites dos custos de ensaios; alternativas de qualidade/custos para operações de integração; probabilidade de funcionamento adequado; taxa de entrega e sua variação; *lead time* do pedido à entrega; disponibilidade de pessoal; disponibilidade de instalação, linha, ambiente (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os critérios podem ser definidos em como os componentes estão para serem verificados e as funções para que são esperadas ter. Podem ser definidos para como os componentes montados e produto integrado para serem validados e entregues. Podem também restringir o grau de simulação permitido para um componente passar no teste ou ser restringido o ambiente a ser usado no teste de integração. Partes pertinentes do cronograma e critérios para a montagem deveriam ser compartilhadas com os fornecedores de produtos para reduzir a ocorrência de atrasos e falhas de componentes (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Resultados típicos são: procedimentos de integração de produto; critérios de integração de produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Subpráticas consistem em: estabelecer e manter procedimentos de integração do produto para os componentes; estabelecer e manter critérios para integração e avaliação de componentes;

estabelecer e manter critérios para validação e entrega de produto integrado (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.2 Garantir a compatibilidade da interface (SG 2)

Muitos problemas de integração do produto crescem de aspectos desconhecidos ou não controlados de interfaces internas e externas. Um gerenciamento efetivo de requisitos, especificações e desenhos de interface de componentes ajudam a garantir que as interfaces implementadas sejam completadas e compatíveis (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.2.1 Rever as descrições de interface para integridade (SP 2.1)

As interfaces deveriam incluir todas as interfaces com o ambiente de integração do produto, em adição às interfaces de componentes (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Resultados típicos são: categorias de interfaces; lista de interfaces por categoria; mapeamento das interfaces dos componentes e ambiente de integração do produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Subpráticas consistem em rever os dados de interface para integridade e garantia completa da cobertura de todas as interfaces; garantir que os componentes e interfaces são identificados para garantir conexões fáceis e corretas para integração do produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Considerar todos os componentes e preparar uma tabela de relacionamentos. Interfaces são classificadas por 3 classes principais: ambiental, física e funcional. Categorias típicas para estas classes incluem: mecânica, fluido, elétrica, climática, eletromagnética, térmica, mensagem e interface humana ou homem-máquina.

Exemplos:

- Interfaces mecânicas (peso e dimensão, centro de gravidade, folga de peças em operação, espaço requerido para manutenção, conexões rígidas, conexões flexíveis, choques e vibrações recebidas de estruturas de mancais/rolamentos);
- Interfaces de interferências (ruídos transmitidos por estruturas, pelo ar e acústicas);
- Interfaces climáticas (temperatura, umidade, pressão e salinidade);

- Interfaces térmicas (dissipação de calor, transmissão de calor para a estrutura de rolamento e características de ar condicionado);
- Interfaces de fluidos (ar condicionado, ar comprimido, nitrogênio, combustível, óleo lubrificante e saída de gás);
- Interfaces elétricas (consumo de energia fornecida por redes com valores de pico e transientes, controle de sinal não sensitivo para fornecimento de energia e comunicação, sinal sensitivo – conexões analógicas, sinais de distúrbio – micro-ondas, etc.)
- Interfaces eletromagnéticas (campo magnético, conexões de rádio e radar, conexões de banda óptica, guias de ondas, fibras ópticas e coaxiais)
- Interface homem-máquina (síntese de voz ou áudio, reconhecimento de voz ou áudio, display, monitor de televisão, ou *display* de cristal líquido, controles manuais, etc.)
- Interface de mensagens (origem, destino, estímulo, protocolos e características de dados)

As descrições de interface dos componentes deveriam ser revisadas com os *stakeholders* para evitar interpretações erradas, reduzir atrasos, e prevenir que o desenvolvimento de interfaces não funcione apropriadamente (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.2.2 Gerenciar as interfaces (SP 2.2)

Gerenciar as definições de interfaces internas e externas, e mudanças para os produtos e seus componentes, incluindo-se manutenção, consistência das interfaces por toda vida do produto e solução de conflitos, não atendimento e lançamento de mudanças (PHILLIPS ET AL., 2006). Resultados típicos são: tabela de relações entre os componentes e ambiente externo (fonte principal de energia, etc.); tabela de relações entre os diferentes componentes; lista de interfaces acordadas para cada par de componentes, quando aplicável; relatórios do controle de interface em reuniões de grupo de trabalhos; ações para atualização de interfaces; programa de aplicação de interfaces; descrição e concordância da interface atualizada (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Subpráticas consistem em: garantir a compatibilidade das interfaces durante o ciclo de vida do produto; resolver questões de conflito, não-atendimento e mudanças; manter o

armazenamento comum para acessibilidade dos dados de interface às equipes de projeto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.3 Montar o produto e entregá-lo (SG 3)

Os componentes do produto verificados são montados e o produto integrado, verificado e validado é entregue. A integração de componentes do produto procede de acordo com a seqüência da integração do produto e procedimentos disponíveis. Antes da integração, cada componente deveria ser confirmado para estar em acordo com os requisitos de interface. Se problemas forem detectados durante a integração, eles deverão ser identificados, os problemas documentados e um processo de ação corretiva devem ser iniciados. O envolvimento das pessoas contribui para a integração bem sucedida (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.3.1 Confirmar a disponibilidade dos componentes para integração (SP 3.1)

Confirmar, antes da montagem, que cada componente requerido para montar o produto foi apropriadamente identificado, as funções estão de acordo com suas descrições, e que cada interface atenda as descrições de interface. Cada componente é checado em quantidade, danos observáveis e interfaces (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Resultados típicos são: documentos de aceitação do componente recebido; registros de entrega; listas de embalagem verificadas; relatórios de exceções; desvios (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Subpráticas consistem em: rastrear o status de todos os componentes tão cedo quanto possível para torná-lo disponível para integração; garantir que os componentes são entregues para integração do produto em acordo com a seqüência e procedimentos; confirmar o recebimento de cada componente identificado; garantir que cada componente atenda suas descrições; verificar o status da configuração recebida contra a configuração esperada; desempenhar uma pré-avaliação (inspeção) de todas as interfaces físicas antes de integrar (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.3.2 Montar os componentes (SP 3.2)

Resultados típicos é o produto montado (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Subpráticas consistem em garantir a disponibilidade do produto no ambiente de integração; garantir que a seqüência de montagem é desempenhada apropriadamente; registrar informações apropriadas (status da configuração, número de série dos produtos, tipos e dados de calibração); revisar a seqüência e procedimentos de integração conforme apropriado (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.4.3.3 Avaliar os componentes montados (SP 3.3)

Resultados típicos são: relatórios de exceção; relatórios de avaliação de interface; relatórios de integração do produto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Subpráticas consistem em: conduzir uma avaliação da montagem dos componentes seguindo a seqüência de integração do produto e procedimentos de avaliação; registrar os resultados avaliados.

A.4.3.4 Embalar e entregar o produto (SP 3.4)

Os requisitos de embalagem para alguns produtos podem ser inseridos em seus critérios de especificações e verificações. Isto é especialmente importante quando os itens são armazenados e transportados pelo cliente. Nestes casos deverá haver um espectro de condições ambientais e de condições extremas específico para a embalagem. Em outras circunstâncias fatores como os seguintes podem ser importantes: economia e facilidade de transporte (ex: *containers*); contabilização; facilidade e segurança da desembalagem (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Resultados típicos são: componentes ou produtos protegidos; documentação de entrega (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Subpráticas consistem em: analisar requisitos, projeto, produto, resultados de verificação e documentação para garantir que os problemas que afetam a embalagem e entrega do produto sejam identificadas e solucionadas; usar métodos efetivos de embalagem e entrega para a montagem do produto; satisfazer aos requisitos e normas para embalagem e entrega do produto; preparar o site operacional para instalação do produto; entregar o produto e documentação e confirmar recebimento; instalar o produto no site e confirmar a operação.

Instalação do produto pode ser responsabilidade do cliente e usuários. Em alguns casos pouco pode ser feito para confirmar a operação. Em outros casos, uma verificação final do produto integrado ocorre no site operacional (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.5 Área de processo de validação

As atividades de validação podem ser aplicadas em todos os aspectos do produto e seus ambientes, tais como operação, treinamento, fabricação, manutenção e serviços de apoio. Os requisitos, projetos e protótipos devem ser selecionados com base na satisfação das necessidades dos usuários e por isso a validação é considerada por todo ciclo de vida do produto. A validação de que o produto conforme fornecido atenderá completamente o seu uso intencional, apesar da verificação expressar se o produto atende aos requisitos especificados. Ou seja, a verificação garante que foi construída corretamente, enquanto a validação que foi construída a coisa certa. A validação utilize-se de atividades comuns à verificação como ensaios, análise, inspeções, demonstrações ou simulações. Frequentemente os usuários finais e *stakeholders* estão envolvidos nas atividades de validação; tanto a validação como a verificação são realizadas simultaneamente e podem utilizar-se de partes do mesmo ambiente. Sempre que possível a validação deve ser realizada usando o produto e componentes em seus ambientes pretendidos, podendo considerar o ambiente como um todo ou parcial (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.5.1 Preparar para validação (SG 1)

As atividades de preparação incluem a seleção de produtos e componentes para validação e o estabelecimento e manutenção do ambiente, procedimentos e critérios de validação. Os itens selecionados para validação podem incluir somente o produto ou níveis apropriados dos componentes que são utilizados para construir o produto. O ambiente de validação pode ser adquirido, especificado, projetado ou construído (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.5.1.1 Selecionar os produtos para validação (SP 1.1)

Os produtos e componentes são selecionados para validação com base na sua relação com as necessidades dos usuários. Para cada um o escopo da validação (comportamento operacional, manutenção, treinamento e interface) deve ser determinado. Requisitos de projetos de produtos e componentes, os produtos e componentes físicos, manuais e processos de documentação são exemplos do que pode ser validado. Os requisitos e restrições são determinados para realizar a validação para então selecionar os métodos de validação baseados na capacidade de demonstrar as necessidades que serão satisfeitas. Demonstrações de protótipos, funcionais, ensaios de produtos e componentes, e análises como simulações são exemplos de métodos de validação (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: lista de produtos e componentes selecionados; métodos de validação para cada produto e componentes; requisitos para realizar a validação para cada produto ou componentes; restrições de validação para cada produto ou componente (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: identificar os princípios, características e fases principais da validação do produto e componentes por toda vida do projeto; determinar quais são as categorias de necessidades de usuários (operacional, manutenção ou suporte) que serão validadas; selecionar os produtos e componentes a serem validados; selecionar os métodos de avaliação para validação do produto e componentes; rever seleção, restrições e métodos com *stakeholders* (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.5.1.2 Estabelecer o ambiente para validação (SP 1.2)

Os exemplos de tipos de elementos no ambiente de validação podem incluir: ferramentas de ensaio com interface com o produto sendo validado; componentes ou subsistemas simulados; sistemas de interface simulada; sistemas de interface real (PHILLIPS *et al.*, 2006).

O resultado de trabalho típico é o ambiente de validação (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: identificar os requisitos ambientais de validação; identificar os produtos fornecidos pelo cliente; identificar itens reutilizados; identificar equipamentos e ferramentas de ensaio; identificar recursos; planejar a disponibilidade de recursos detalhadamente (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.5.1.3 Estabelecer os procedimentos e critérios para validação (SP 1.3)

Os procedimentos e critérios de validação são definidos para garantir que o uso pretendido do produto será realizado quando estabelecido no ambiente pretendido. Testes ou ensaios de aceitação e procedimentos podem atender aos procedimentos de validação. Requisitos de produtos e componentes, normas, critérios de aceitação do cliente são exemplos de fontes para critérios de validação (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: procedimentos de validação; critérios de validação; procedimentos de ensaios e avaliações para manutenção, treinamento e apoio (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: rever os requisitos do produto para garantir que questões que afetam a validação estão identificadas e solucionadas; documentar o ambiente, cenário operacional, procedimento, entradas, saídas e critérios para validação; avaliar o projeto à medida que evolui no ambiente de validação para identificar questões de validação (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.5.2 Validar o produto e componentes (SG 2)

Métodos, procedimentos e critérios de validação são usados para validar os produtos e componentes selecionados e qualquer serviço de manutenção, treinamento e suporte associados usando o ambiente de validação apropriado (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.5.2.1 Realizar a validação (SP 2.1)

Os procedimentos de validação devem ser documentados e os desvios que ocorrerem durante sua execução devem ser registrados conforme apropriado (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: relatórios de validação; resultados de validação; matriz de referência cruzada para validação; registro de procedimentos de como realizar; demonstrações operacionais (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.5.2.2 Analisar os resultados da validação (SP 2.2)

Os dados resultantes de ensaios, inspeções, demonstrações ou avaliações são analisados contra critérios definidos de validação (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Os resultados de trabalhos típicos são: relatórios de deficiência; problemas de validação; pedidos de mudanças de procedimento (PHILLIPS *et al.*, 2006).

As subpráticas consistem em: comparar os resultados atuais com os esperados baseados nos critérios; identificar produtos e componentes que tiveram problemas; analisar os dados de validação para falhas; registrar os resultados das análises e identificar os problemas; usar os resultados da validação para comparar medições e desempenhos atuais para uso pretendido ou necessidade operacional (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.6 Área de processo de gerenciamento de requisitos

Gerenciar dos produtos e componentes do projeto e identificar inconsistências entre aqueles requisitos e os planos de projeto e resultados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.6.1 Gerenciar requisitos (SG 1)

O projeto mantém um grupo de requisitos correntes e aprovados durante a vida do projeto fazendo o seguinte: gerenciando todas as mudanças de requisitos; mantendo as relações entre os requisitos, os planos de projeto e os resultados de projeto; identificando inconsistências entre os requisitos, os planos de projeto e os resultados de projeto e tomando ações corretivas (PHILLIPS *et al.*, 2006)

A.6.1.1 Obter o entendimento dos requisitos (SP 1.1)

Assim que o projeto vai amadurecendo e os requisitos são criados, todas as atividades ou disciplinas receberão os requisitos. Para evitar requisitos indesejáveis, critérios são estabelecidos para designar canais apropriados ou fontes oficiais sobre os quais irão receber os requisitos. As atividades que receberão os requisitos devem conduzir análises dos requisitos com os requisitos recebidos para garantir compatibilidade, entendimento comum é obtido sobre o significado dos requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Resultados típicos são: lista de critérios para distinguir fornecedores de requisitos apropriados; critérios para avaliação e aceitação de requisitos; resultados das análises contra critérios; um acordo do grupo de requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006)

As subpráticas consistem em: estabelecer critérios para distinguir fornecedores de requisitos apropriados; estabelecer critérios, objetivos para avaliação e aceitação de requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A falta de avaliação e aceitação de critérios resulta em uma verificação inadequada, custo de retrabalho ou rejeição do cliente; analisar requisitos para garantir que os critérios estabelecidos são atendidos; alcançar o entendimento dos requisitos de tal forma a haver comprometimento (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.6.1.2 Obter o comprometimento para com os requisitos (SP 1.2)

Onde quer que a prática específica anterior negocie com a obtenção de um entendimento com os fornecedores dos requisitos, esta prática específica negocia com os acordos e comprometimentos entre aqueles que têm que realizar as atividades necessárias para

implementar os requisitos. Requisitos evoluem por todo o projeto, especialmente os descritos pelas práticas específicas das áreas de processo de Desenvolvimento de requisitos e soluções técnicas. Assim que os requisitos evoluem, esta prática específica garante que os participantes do projeto se comprometam com os requisitos aprovados e as mudanças em planos de projeto, atividades e resultados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Resultados típicos são: avaliações de impacto de requisitos; comprometimentos documentados aos requisitos e mudanças de requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006)

Subpráticas consistem em: avaliar o impacto dos requisitos em comprometimentos existentes; negociar e registrar comprometimentos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.6.1.3 Gerenciar mudanças de requisitos (SP 1.3)

Os requisitos mudam por uma variedade de razões durante o projeto. Assim que as necessidades mudam e o trabalho progride, requisitos adicionais são derivados e mudanças podem ser feitas para os requisitos existentes. É essencial gerenciar estas mudanças e adições eficientemente e com eficácia. Para analisar eficazmente o impacto das mudanças, é necessário que a fonte de cada requisito seja conhecida e a justificativa para qualquer mudança seja documentada (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Resultados típicos são: status dos requisitos; banco de dados dos requisitos; banco de dados das decisões dos requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Subpráticas consistem em: documentar todos os requisitos e mudanças de requisitos que são consideradas para gerar o projeto; manter o histórico de mudanças de requisitos com as justificativas para as mudanças; avaliar o impacto das mudanças a partir do ponto de vista dos *stakeholders*; deixar os dados de requisitos e mudanças para o projeto (PHILLIPS *et al.*, 2006).

A.6.1.4 Manter a rastreabilidade de requisitos (SP 1.4)

Quando os requisitos são bem gerenciados, a rastreabilidade pode estar estabelecida do requisito-fonte até o nível mais baixo de requisitos a partir da fonte. Tal rastreabilidade ajuda

a determinar que todas as fontes de requisitos tivessem sido declaradas completamente e que todos os requisitos de nível mais baixo podem ser rastreáveis de uma fonte válida (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Rastreabilidade de requisitos podem também cobrir as relações entre outras entidades tais como resultados finais e intermediários, mudanças em documentação de projeto e planos de ensaios. A rastreabilidade pode cobrir relações horizontais para outras entidades tais como interfaces cruzadas, tão bem quanto relações verticais. Rastreabilidade é particularmente necessária em conduzir a avaliação de impacto de mudanças de requisitos nas atividades de projeto e resultados (PHILLIPS *et al.*, 2006).

Resultados típicos são: matriz de rastreabilidade de requisitos; sistema de monitoramento de requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006)

Subpráticas consistem em: manter a rastreabilidade de requisitos para garantir que a fonte do nível derivado está documentada; manter a rastreabilidade de requisitos de um requisito aos seus requisitos derivados e alocação às funções, interfaces, objetos, pessoas, processos e resultados; gerar uma matriz de rastreabilidade de requisitos (PHILLIPS *et al.*, 2006).

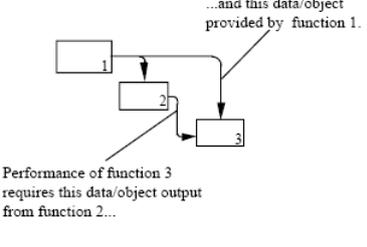
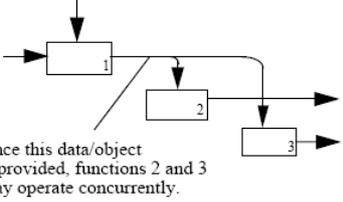
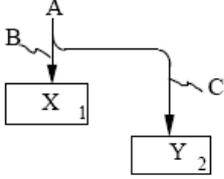
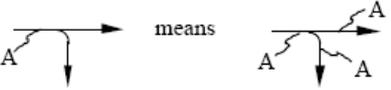
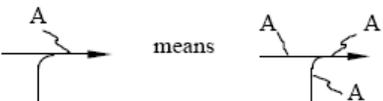
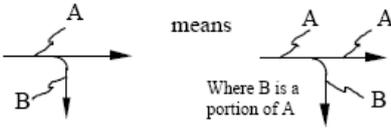
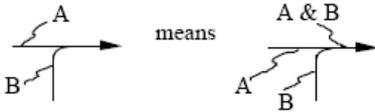
A.6.1.5 Identificar inconsistências entre os resultados e requisitos (SP 1.5)

Esta prática específica procura as inconsistências entre os requisitos e planos de projeto e resultados e inicia uma ação corretiva para solucioná-las (PHILLIPS *et al.*, 2006).

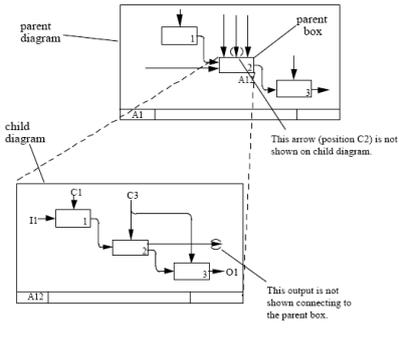
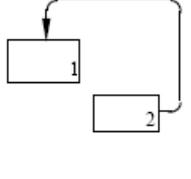
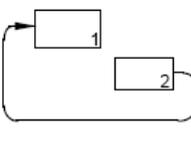
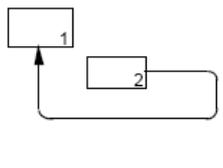
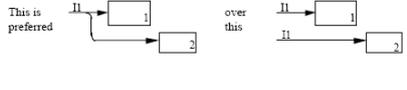
Resultados típicos são: documentação das inconsistências incluindo fontes, condições e justificativas; ações corretivas (PHILLIPS *et al.*, 2006)

Subpráticas consistem em: rever os planos de projeto, atividades e resultados para consistência com os requisitos e as mudanças feitas neles; identificar a fonte da inconsistência e a justificativa; identificar mudanças que necessitam serem feitas aos planos e resultados resultantes das mudanças à referência de requisitos; iniciar ações corretivas (PHILLIPS *et al.*, 2006).

ANEXO B - Regras gerais para diagramas IDEF0

Regras da Metodologia IDEF0	Descrição
 <p>Performance of function 3 requires this data/object output from function 2...</p> <p>...and this data/object provided by function 1.</p>	<p>O desempenho da função número 3 requer a saída de dado/objeto da função 2 e o dado/objeto fornecido pela função 1.</p>
 <p>Once this data/object is provided, functions 2 and 3 may operate concurrently.</p>	<p>Uma vez este dado/objeto é fornecido, as funções 2 e 3 podem operar simultaneamente.</p>
	<p>A reta A se desdobra em seta B e C para fornecer os controles de X e Y.</p>
 <p>means</p>	<p>O desdobramento da reta A em duas setas significa que as duas setas desdobradas possuem a mesma identificação</p>
 <p>means</p>	<p>A junção de duas retas em uma seta A significa que as informações contidas nas retas são A.</p>
 <p>means</p> <p>Where B is a portion of A</p>	<p>A junção das retas A e B, onde B é uma parte de A.</p>
 <p>means</p>	<p>A junção das retas A e B resultou na soma das mesmas</p>

	<p>A saída “files” do bloco 1 contém os controles necessários “customer records” do bloco 2 e “price & Tax tables” do bloco 3. A junção “account earns” é criada pelas informações “deliver products” e “do billings”.</p>
	<p>Em um diagrama, dados ou objetos podem ser representados por uma seta interna, com dois fins (fonte e uso), ou por uma seta limítrofe, com somente um fim conectado (fonte ou uso).</p>
	<p>A seta de controle do bloco 1 do diagrama filho é um controle do bloco 2 do diagrama pai. A entrada do bloco 1 do diagrama filho é a entrada do bloco 2 do diagrama pai. A saída do bloco 3 do diagrama filho é a saída do bloco 2 do diagrama pai.</p>
	<p>A notação parênteses indicada na proximidade do bloco significa que os dados ou objetos não são necessários para o entendimento do próximo nível (diagrama filho), e por isso não são mostrados no diagrama filho.</p>
	<p>As setas não correspondem às setas de conexão do diagrama pai.</p>

	<p>A seta com notação parênteses do bloco 2 do diagrama pai não é mostrada no diagrama filho. A saída do bloco 2 do diagrama filho não é mostrada em conexão no diagrama pai.</p>
	<p><i>Feedbacks</i> de controle devem ser indicados de baixo para cima sobre os blocos.</p>
	<p><i>Feedbacks</i> de entradas devem ser indicados de baixo para cima sob os blocos.</p>
	<p><i>Feedbacks</i> de mecanismos devem ser indicados de baixo para cima sob os blocos.</p>
	<p>Preferível o desdobramento da seta que duas setas separadas.</p>

ANEXO C - Conceitos de metodologia, processos, métodos e ferramentas

A palavra metodologia é freqüentemente considerada, de maneira errônea, como sinônimo da palavra processo. Segue abaixo, então, definições que são usadas para distinguir metodologia de processos, métodos e ferramentas (ESTEFAN, 2008):

- Um processo é uma seqüência lógica de tarefas desempenhadas para obter um objetivo particular. Um processo define “o quê” será feito sem especificar “como” cada tarefa será desempenhada. A estrutura de um processo fornece muitos níveis de agregação para permitir análise e definição do que será feito em vários níveis de detalhe para apoiar necessidades diferentes de decisões e ações;
- Um método consiste de técnicas para desenvolver uma tarefa, em outras palavras, define “como” será feita cada tarefa (neste contexto, as palavras método, técnica, prática e procedimento são freqüentemente utilizados intercambiavelmente). Em qualquer nível as tarefas de processos são desempenhadas usando-se métodos. Contudo, cada método é um processo em si mesmo com a seqüência das tarefas a serem desempenhadas por aquele método em particular. Ou seja, o “como” em um nível torna-se um “o quê” no próximo nível abaixo.
- Uma ferramenta é um instrumento que quando aplicado em um método particular pode melhorar a eficiência da tarefa, provavelmente aplicada apropriadamente ou por alguém como habilidades e treinamento. O propósito da ferramenta deveria ser facilitar a realização dos “como”. De uma maneira ampla, uma ferramenta melhora “o quê” e o “como”.

Baseado nestas definições, a metodologia pode ser definida como uma coleção de processos, métodos e ferramentas relacionados. Associados com as definições de processos, método (e metodologia) e ferramentas está o ambiente. Um ambiente consiste de arredores, objetos externos, condições e fatores que influenciam as ações de um objeto, pessoa ou grupo.

Estas condições podem ser sociais, culturais, pessoais, físicas, organizacionais ou funcionais. Um ambiente pode habilitar (ou desabilitar) o “o quê” e o “como”.