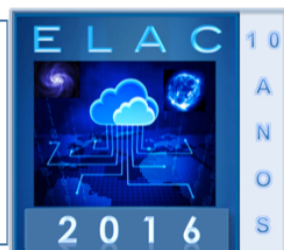


MC2 – ELAC 2016

© G.S. Kienbaum-INPE-MCTI

Proibida a reprodução sem a autorização do autor



A CIÊNCIA E TECNOLOGIA TRANSDISCIPLINARES DE PROCESSOS

ESCOLA DE VERÃO DO LABORATÓRIO ASSOCIADO DE COMPTAÇÃO E
MATEMÁTICA APLICADA (LAC)

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE)

Germano de Souza Kienbaum, PhD

URL do documento original:
<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE
São José dos Campos
2016

RESUMO

Este minicurso apresenta uma metodologia denominada Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos para a modelagem, execução, monitoramento, gestão e aperfeiçoamento dos processos do ciclo de vida de engenharia e gerenciamento de sistemas, bem como um projeto preliminar para a implementação de um ambiente computacional de apoio à mesma. A abordagem consiste na análise e construção de modelos multidisciplinares especializados dos processos simultâneos de engenharia e gerenciamento de sistemas, baseado em técnicas oriundas das disciplinas Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos, Gerenciamento de Projetos, Gestão de Processos de Negócios, e Modelagem e Simulação de Sistemas. O ambiente visa a melhoria do planejamento, execução e gestão dos processos do ciclo de vida do produto voltados para missões espaciais. A demonstração das potencialidades da metodologia e de seu ambiente de apoio é feita através de um estudo de caso sobre os processos da fase de design no desenvolvimento de projetos de pequenos satélites.

TRANSDISCIPLINARY PROCESS SCIENCE AND TECHNOLOGY

ABSTRACT

This minicourse presents a methodology denominated Transdisciplinary Process Science and Technology for modeling, execution, monitoring, management and improvement of the concurrent systems engineering development and management lifecycle processes, as well as a preliminary project for the implementation of a basic PLM environment to support its application in space missions. The approach consists in the analysis and construction of specialised multidisciplinary models of the simultaneous systems engineering development and management processes, derived from the techniques of Model Based Systems Engineering, Project Management, Business Process Management, and Systems Simulation. The environment consists in an assembly of integrated applications, to support the improvement of the planning, execution and management of the product lifecycle processes. The demonstration of the potentialities of the methodology and its supporting environment is done by means of a case study, describing their application to the design phase processes in small satellites project developments.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 – Ilustração sobre Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos Fonte: Adaptada de Silva (2013)	5
Figura 2.2 – Ilustração sobre o contexto do PCF da APQC e o SEBoK	13
Figura 2.5 – Modelo IDEF0 – Fase de design – Definição de Conceitos e Definição de Sistemas	23
Figura 2.6 – Modelo DMUCV - Fase de design – Definição de Conceitos e Definição de Sistemas	25
Figura 3.2 – Fase de design ES – Modelo BPMN Definição de Conceitos e Definição de Sistemas	33
Figura 3.3 – Protótipo de Macroprocessos - Definição de Conceitos	35
Figura 5.1 – ProjectLibre – Ambiente de suporte para construção do modelo especializado de Gerenciamento de Projetos	40

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 – Descrição dos símbolos da notação de Modelagem DMUCV.....	8
Tabela 5.1 – Dados usados para modelo especializado para o microsatélite BRAZUCA-4	41
Tabela 5.2 – Caracterização de Satélites.....	44
Tabela 5.3 – Experimentação para o satélite BRAZUCA-1 (Picossatélite).....	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APQC	<i>American Productivity and Quality Center</i>
BPD	<i>Business Process Diagrams</i>
BPMN	<i>Business Process Management Notation</i>
BPMS	<i>Business Process Management System</i>
CT ² P	Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos
DMCU	Diagramas para Modelagem Conceitual Unificada
DMUCV	Diagramas para Modelagem Unificada do Ciclo de Vida
DMUS	Diagrama para Modelagem Unificada em Simulação
IDEF0	<i>Integrated Computer Aided Manufacturing DEFinition for Function Modelling</i>
INCOSE	<i>International Council on Systems Engineering</i>
PERT/CPM	<i>Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
PM	<i>Project Management</i>
SE	<i>Systems Engineering</i>
SEBoK	<i>Systems Engineering Body of Knowledge</i>

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Definição do Problema	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Estrutura do Trabalho	3
2 CIÊNCIA E TECNOLOGIA TRANSDISCIPLINARES DE PROCESSOS	5
2.1. Fundamentos da Metodologia	6
2.2. Framework para CT ² P	9
2.3. Definição do Problema	12
2.4. Ajustes gerais ao modelo SEBoK	15
2.5. Ajustes aos padrões de Gerenciamento de Projetos	17
2.6. Ajustes aos padrões de Engenharia de Sistemas Espaciais	18
2.6.1. Análises da Missão	19
2.6.2. Análise de Viabilidade	19
2.7. Modelagem Conceitual	20
2.7.1. Criação do Modelo IDEF0	20
2.7.2. Criação do Meta-Modelo de Referência	24
3 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS ESPECIALIZADOS	27
3.1. A Modelagem na Visão da Engenharia de Sistemas	27
3.2. A Modelagem na Visão de Gerenciamento de Projetos	29
3.3. A Modelagem na Visão de Gestão de Processos de Negócios	31
3.4. A Modelagem na Visão de Simulação de Sistemas	34
4 PRÉ-PROJETO DO AMBIENTE PLM DE APOIO	36
5 ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DE CT ² P A PROJETOS DE PEQUENOS SATÉLITES	38
5.1. Levantamento de Dados e Parametrização dos Modelos	39
5.2. Pré-projeto para Execução e Análise dos Modelos Individuais	42
5.2.1. Design de Experimentos	43
5.2.2. Execução e Análise	44
6 AVALIAÇÃO GLOBAL	47

7	CONCLUSÕES – BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA E DO AMBIENTE PLM DE APOIO	49
8	REVISÃO HOLÍSTICA E PESQUISAS FUTURAS	50
8.1.	Agradecimentos	52

1 INTRODUÇÃO

1.1. Definição do Problema

Miniaturização parece ser a palavra da moda do século XXI e, como em outros campos de pesquisas científicas e tecnológicas, existe uma tendência para o desenvolvimento e o uso de pequenos satélites a fim de prover serviços que até pouco eram realizados somente por sistemas grandes e altamente complexos.

O desenvolvimento de pequenos satélites tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. O número significativo de novos projetos é relacionado com a criação de novas oportunidades para a condução de pesquisas científicas e tecnológicas de baixo custo e médio nível de complexidade sobre satélites autônomos no espaço.

“O desenvolvimento, operação e análise de dados de cubesats podem fomentar educação científica e impulsionar a utilização da tecnologia em nações emergentes e em desenvolvimento. Essa plataforma oferece custos excepcionalmente baixos para construção e lançamento, juntamente com uma onipresença comparativa dos fornecedores de lançamento; estes fatores levaram mais de 80 universidades e diversas nações emergentes a desenvolverem programas nessa área. Seu pequeno tamanho e peso permite que cubesats “peguem carona” em lançamentos de foguetes e acompanhe órbitas de foguetes viajando para Lua e Marte” (Woellert, et al.,2011).

A fim de implementar programas espaciais com tais características, envolvendo pequenos satélites de baixo custo, deve-se dar uma ênfase especial ao treinamento de recursos humanos, estudantes de graduação e pós-graduação, por meio de aprendizagem baseada em projetos e seu engajamento em projetos reais, conduzidos por universidades e instituições de pesquisa responsáveis pelo programa espacial nacional.

O programa espacial brasileiro é de responsabilidade de um pequeno número de grandes organizações. Por este motivo, a adoção de uma abordagem transdisciplinar orientada a processos, do tipo da metodologia da Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos (CT²P) apresentada neste trabalho adquire uma importância especial no País. Por um lado, essas organizações estão preocupadas com produtos grandes e altamente complexos, e seu conhecimento e experiência são direcionados ao desenvolvimento desse tipo de sistema. Por outro, pesquisas de satélites de baixo custo, e/ou baixo-médio nível de complexidade científica e tecnológica, requerem ferramentas e técnicas menos sofisticadas, e não há nada equivalente nesse cenário que possa ser usado para auxiliar projetos de missões espaciais dessa natureza. Isso acarreta a possibilidade de que o desenvolvimento de projetos de pequenos satélites venha a ser feito de maneira muito amadora, levando a deficiências no projeto, relacionadas ao escopo, duração, custo e/ou baixa qualidade dos produtos criados.

O propósito deste minicurso é mostrar que projetos dessa natureza podem fazer uso da abordagem (CT²P) e do Framework por ela proposto para a implementação de um ambiente de apoio à mesma, como alternativa de baixo custo e média complexidade, para substituir sistemas de suporte Product Lifecycle Management (PLM) e Business Process Management (BPM), que são mais caros, complexos, difíceis de customizar e integrar a outras aplicações de software. Com isto seria possível se suprir a necessidade do uso desses sistemas, substituindo-os por uma alternativa mais apropriada para o uso de organizações acadêmicas e de pesquisas, para utilização na gestão do ciclo de vida do produto no desenvolvimento de projetos de pequenos satélites.

1.2. Objetivo

O objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia transdisciplinar orientada a processos e um pré-projeto para a criação de um ambiente computacional de apoio à mesma, para a execução e gestão dos processos do

ciclo de vida do produto voltados para o desenvolvimento de projetos de pequenos satélites em missões espaciais. O ambiente visa a melhoria do planejamento, execução e gerenciamento dos projetos, utilizando como base uma metodologia de modelagem de processo multifacetada e um conjunto de técnicas e aplicativos integrados, que juntos recebem a denominação de Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos.

1.3. Estrutura do Trabalho

O restante desse trabalho está estruturado de acordo com o que se segue:

Capítulo 2 - Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos - define conceitos fundamentais da metodologia CT²P.

O Capítulo 3 - Desenvolvimento dos Modelos Especializados - descreve as modelagens especializadas na visão de cada uma das disciplinas que compõem a CT²P.

O Capítulo 4 – Pré-projeto do Ambiente PLM de Apoio – cobrirá aspectos da arquitetura do ambiente, tais como as funcionalidades envolvendo design de experimentos, execução e análise, aspectos estes que serão requeridos de cada um dos aplicativos que compõem o ambiente de apoio PLM a ser desenvolvido.

O Capítulo 5 – Estudo de Caso da Aplicação de CT²P a Projetos de Pequenos Satélites – descreve o estudo de caso realizado pelos alunos dos cursos CSE-326 e CSE-331 para aplicação da metodologia no contexto da realização de projetos de pequenos satélites.

O Capítulo 6 - Avaliação Global - apresentará uma avaliação global dos resultados integrados obtidos com a aplicação das disciplinas individuais e de suas ferramentas de apoio. O resultado principal esperado, obtido por essa avaliação global das metodologias e técnicas aplicadas, é a avaliação das potencialidades da metodologia e de seu ambiente PLM de apoio proposto

para realizar a execução e gestão integradas, monitoramento e análise dos processos do ciclo de vida do produto do sistema objeto do estudo.

O Capítulo 7 - Conclusões: Benefícios e Limitações da Metodologia e do seu Ambiente PLM de Apoio- faz algumas considerações sobre a aplicabilidade, bem como sobre os benefícios e limitações da metodologia e do seu ambiente PLM de apoio proposto.

Finalmente, o Capítulo 8 - Revisão Holística e Pesquisas Futuras - apresentam um sumário da experiência ganha (as “lições aprendidas”) com o desenvolvimento do Framework CT²P ao longo do tempo e aponta para alguns esforços futuros de pesquisa, previstos para serem conduzidos para a continuidade e maturação da abordagem descrita.

2 CIÊNCIA E TECNOLOGIA TRANSDISCIPLINARES DE PROCESSOS

A Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos (CT²P) é a agregação e unificação das quatro disciplinas ou técnicas de modelagem (Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos, Gerência de Projetos, Gestão por Processos de Negócios, Modelagem e Simulação de Sistemas) para construir uma visão holística e transdisciplinar para a modelagem de processos da empresa, compreendendo tanto o desenvolvimento de produtos como os processos de gerenciamento da organização ao longo de todo o ciclo de vida (Kienbaum, 2015).

A CT²P (Kienbaum, 2015) tem o objetivo de modelar, construir, simular, automatizar e melhorar continuamente os processos de engenharia simultânea de sistemas, descritos como a integração dos processos de produção e de gestão de produtos e serviços complexos, por meio da criação de uma metodologia unificada e do desenvolvimento de suas ferramentas de suporte.

A Figura 2.1 apresenta as principais disciplinas que compõe a Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos, mostrando a fusão das quatro áreas de estudos que lidam com modelos de processos discretos, que são integradas e unificadas ao centro, formando uma única área de concentração, denominada CT²P (Kienbaum, 2015).

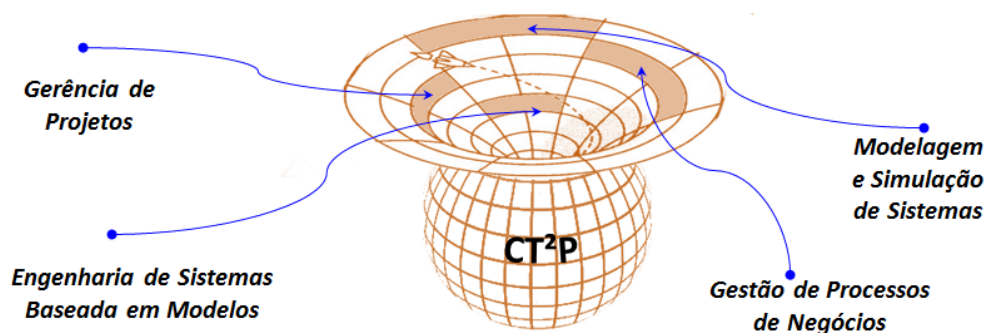


Figura 2.1 – Ilustração sobre Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos
Fonte: Adaptada de Silva (2013)

2.1. Fundamentos da Metodologia

Os conceitos mais fundamentais e diferenciais da metodologia CT²P são aqueles relacionados com o modelo de referência transdisciplinar de processos e sua notação específica, denominada Diagramas para a Modelagem Unificada do Ciclo de Vida – DMUCV em português – ou Unified Lifecycle Modeling Diagrams - ULMD em inglês – de acordo com (Fernandez et al.,2016). O modelo de referência de processos em DMUCV descreve o processo de ciclo de vida do sistema em sua estrutura essencial, bem como suas características dinâmicas, com o propósito especial de servir como base comum para o desenvolvimento dos modelos especializados adicionais, a serem criados em cada disciplina autônoma componente da CT²P.

A atual designação DMUCV e seu formato de notação é uma evolução das antigas versões dos diagramas, denominados Diagrama para Modelagem Unificada em Simulação (DMUS) e Diagrama para Modelagem Conceitual Unificada (DMCU). A Tabela 2.1 apresenta a simbologia da notação para a modelagem transdisciplinar de processos e seus respectivos significados, tanto em seus formatos antigos nas versões DMUS/DMCU, bem como em seu formato atual DMUCV.

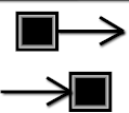
As características diferenciais do DMUCV começam com seu alto nível de abstração e minimalismo, composta somente por uma dúzia de símbolos diferentes expressando a estrutura completa e a dinâmica dos processos concorrentes do ciclo de vida dos agentes participantes do sistema. O diagrama lógico expressa um conjunto integrado de conceitos, a saber: a decomposição hierárquica dos processos componentes; a variedade de agentes e mensagens e os fluxos de controle dos processos; os de ciclo de vida dos agentes e as interações entre eles. Os diagramas são criados na forma de módulos encapsulados, que podem ser representados na forma de frames ou de piscinas e raias, descrevendo desde um processo muito simples (tarefa) até um processo muito complexo (macroprocesso).

Adicionalmente a todas essas características, algumas das quais ainda poderiam ser expressas utilizando os diagramas do tipo *Business Process Management Notation* (BPMN) (OMG,2010), existe um aspecto inigualável que diferencia DMUCV de todos os outros tipos de diagramas de modelagem de processos existentes. Esses diagramas não descrevem operações lógicas puras e/ou controles de fluxos (fluxogramas), eles representam essencialmente as atividades essenciais de transformação, realizadas em tempo real por entidades físicas, bem como as mensagens ou artefatos trocados entre elas.

Os links correspondem a entidades reais, que fluem ao longo de seu ciclo de vida (linhas sólidas), bem como a artefatos (linhas pontilhadas) trocados entre as atividades, que são utilizados como entradas para outras atividades. Cada classe de entidade tem seu processo de ciclo de vida específico, e elas interagem para executar suas atividades comuns, que consomem tempo, e que ficam pausadas até que todos os insumos necessários (entidades e/ou artefatos) estejam disponíveis, e suas condições iniciais internas adicionais para execução sejam satisfeitas. Um tipo especial de condição inicial é externa e é representada graficamente, chamada de mecanismo de disparo. Os fluxos de controle estão sempre associados com algum tipo de entidade, recurso, artefato ou mecanismo de disparo, e eles reativam os processos em um determinado ponto do seu ciclo e do tempo, dando continuidade à execução do seu ciclo de vida completo.

O formato real da notação de modelagem se assemelha muito ao do conjunto básico dos ícones BPMN, com algumas extensões. Pode-se questionar a necessidade de "mais um tipo de notação de modelagem de processo ou diagramas gráficos". Na verdade, BPMN é largamente usada e apoiada por grandes comunidades, tornando-se a notação "padronizada" para a criação de modelos, que se destinam a serem convertidos em notações proprietárias específicas, e implementadas em uma variedade de ferramentas proprietárias oferecidas por diferentes fabricantes de sistemas.

Tabela 2.1 – Descrição dos símbolos da notação de Modelagem DMUCV

Designação		Descrição
DMUS / DMCU	DMUCV	
		Ponto de início do processo do ciclo de vida de entidades
		Ponto de término do processo do ciclo de vida de entidades
		Repositórios de entidades ou recursos
N/A		Intersecção de entidades ou recursos entre dois processos apresentados em raias ou frames separados
		Macroprocesso
		Processo / Atividade Simples
		Link mostrando o fluxo de controle de qualquer tipo ou número de entidades, recursos, artefatos ou mensagens que estão sendo transferidos
N/A		Conexão entre fronteiras do fluxo de controle de quaisquer tipos de entidades ou recursos. As fronteiras separam raias ou frames e os símbolos descrevem respectivamente o envio e recebimento de mecanismos.
		Link mostrando o fluxo de controle artefato ou mensagem específica que está sendo transferida e que necessita ser distinguida
N/A		Conexão entre fronteiras do fluxo de controle de artefato ou mensagem específica sendo transferida, que necessitam ser distinguidos. As fronteiras separam raias ou frames e os símbolos descrevem respectivamente o envio e recebimento de mecanismos.
N/A		Link mostrando o sincronismo entre dois processos
N/A		Conector usado para direcionar o fluxo de controle entre os processos para expressar roteamento em junções (ou exclusivo, separação e união), o qual também tem capacidade de processamento
N/A		Bloco utilizado para roteamento, associados com os caminhos percorridos por entidades, recursos, artefatos ou mensagens
	N/A	Fila de entidades/recursos esperando diante de uma atividade prestes a se iniciar
	N/A	Fila de artefatos/mensagens esperando diante de uma atividade prestes a se iniciar

O uso da notação DMUCV é somente um primeiro passo (a fase de modelagem conceitual) de um gradual processo de modelagem e pode-se

afirmar que algumas características semânticas de DMUCV são inexistentes em qualquer uma das representações de modelo gráfico ou textual de processos tradicionais, como Workflows ou até mesmo BPMN. Essas características dos diagramas DMUCV, no entanto, acabam sendo essenciais para o tipo de lógica e conhecimento representado no modelo de referência.

2.2. Framework para CT²P

Um *Framework* para a condução de estudos em Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos (Kienbaum et al., 2012) é definido como uma abordagem sistemática de modelagem que compreende os três elementos seguintes: uma Arquitetura do Conhecimento sobre processo, que contém o conhecimento organizado sobre os modelos estrutural e dinâmico dos processos de desenvolvimento de produtos e serviços complexos; um método para evolução dos modelos, chamado de Método de Implementação, abrangendo os processos do ciclo de vida do desenvolvimento do produto e da gestão da organização; e um conjunto de ferramentas de apoio, denominado Ambiente de Apoio, para auxiliar na condução destes estudos.

As diretrizes principais nas quais o *Framework* se baseia são as seguintes:

- Construir um modelo de referência integrado e unificado contendo os processos essenciais de produção e de gestão, isto é, o modelo de processos da engenharia simultânea de sistemas, cobrindo todo o ciclo de vida de sistema desde sua concepção até o seu descarte final.
- Construir modelos de processos multifacetados, a partir do modelo de referência citado. Para isto empregam-se diferentes formas de modelos ou visões especializadas de processos, baseadas no domínio de conhecimento dos diversos agentes envolvidos no projeto do sistema, a saber: as visões do Engenheiro de Sistemas, do Gerente do Projeto, do Gestor de Processos de Negócios, e do analista especializado em Modelagem e Simulação de Sistemas.

- Empregar esses modelos multifacetados ao longo do ciclo de vida completo do produto para executar, simultaneamente e de forma integrada, tanto os processos de desenvolvimento do produto quanto os de gestão da produção pela organização executora.

A Tabela 2.2 apresenta a abordagem CT²P descrita como macroprocessos e suas respectivas atividades componentes.

Tabela 2.2 – Metodologia para uso de CT²P (Kienbaum, 2015)

TRANSDISCIPLINARY PROCESS SCIENCE AND TECHNOLOGY (T-ProST)				CIÊNCIA E TECNOLOGIA TRANSDISCIPLINARES DE PROCESSOS (CT ² P)		
Unified Lifecycle Modelling	Phases	Activities	Tasks	Fases	Atividades	Tarefas
	Problem Definition	Elicitation, Mission Definition and Strategic Planning (A0)	Elicitation, Mission Definition and Strategic Planning	Definição do Problema	Elicitação, Definição de Missão e Planejamento Estratégico (A0)	Elicitação, Definição de Missão e Planejamento Estratégico
	Conceptual Modelling	Analysis (A)	IDEF0 Model Creation, Reference Meta-Model Creation	Modelagem Conceitual	Análise (A)	Criação do Modelo IDEF0 (Integrated DEFinition for Function Modelling), Criação do Meta-Modelo de Referência
	Model Development	Specialized Model Building (B)	B1, B2, B3, B4	Desenvolvimento do Modelo	Bricolagem ou Modelagem Especializada (B)	B1, B2, B3, B4
		Specialized Model Construction/Implementation (C)	C1, C2, C3, C4		Construção/Implementação dos Modelos Especializados (C)	C1, C2, C3, C4
	Model Execution	Design of Experiments (D) Experimentation (E)	D1, D2, D3, D4 E1, E2, E3, E4	Execução do Modelo	Descrição de Experimentos (D) Experimentação (E)	D1, D2, D3, D4 E1, E2, E3, E4
	Finishing	Finishing (F)	F1, F2, F3, F4	Finalização	Finalização (F)	F1, F2, F3, F4
	Global Assessment	General Assessment (G)	General Assessment	Avaliação Global	Avaliação Geral (G)	Avaliação Geral
	Holistic Revision	Holistic Revision (H)	Holistic Revision	Revisão Holística	Revisão Holística (H)	Revisão Holística

A Tabela 2.2 mostra a modelagem unificada do ciclo de vida do sistema, inicialmente na forma de fases ou macroprocessos componentes, e depois por meio da decomposição destes em suas atividades e tarefas simples, evidenciando a transformação gradual do Ciclo de Vida do Sistema e, em particular, o uso simultâneo das diversas disciplinas para construir os modelos multifacetados utilizados para o estudo completo de CT²P.

A primeira fase ou macroprocesso - Definição do Problema - consiste na definição do problema ou do sistema, e na identificação dos objetivos do estudo. Esta fase ou macroprocesso é realizado através de uma atividade dividida em três tarefas, denominadas Elicitação, Definição da Missão e Planejamento Estratégico.

A segunda fase ou macroprocesso - Modelagem Conceitual – é onde se constroem o modelo transdisciplinar dos processos hierárquicos – Modelo de Referência ou Meta-Modelo de Processos - no formato *ULMD (Unified Lifecycle Modelling Diagrams)*, descrevendo os processos essenciais do sistema, que correspondem às transformações reais que nele ocorrem. Isso torna mais fácil para os diferentes tipos de usuários e modeladores entenderem o comportamento do sistema e, mais tarde, traduzir esse modelo lógico em diversos tipos específicos de notações, a fim de realizar as fases de bricolagem e construção dos modelos especializados.

As etapas ou macroprocessos restantes são mostrados com as suas respectivas denominações e definições mais detalhadas, através da decomposição do respectivo macroprocesso em seus componentes, que consistem em atividades simples ou compostas de suas respectivas tarefas elementares.

Os termos utilizados em inglês e português adotam uma ordem alfabética, que ajuda na identificação da sequência temporal segundo a qual estas atividades e tarefas simples são realizadas.

Os quatro tipos numerados de Tarefas B, C, D, E e F são aqueles relacionados com as quatro disciplinas que compõem a CT²P (Engenharia de Sistemas, Gerência de Projetos, Gestão de Processos de Negócios e Simulação). Eles são tratados separadamente durante as etapas de Desenvolvimento do Modelo, Execução e Finalização - modelagem especializada, execução e avaliação - e seus resultados são integrados na etapa de Avaliação Global, para produzir uma avaliação completa dos modelos multifacetados criados a partir do modelo transdisciplinar de referência.

Finalmente, a modelagem unificada do ciclo de vida é encerrada com o macroprocesso Revisão Holística, onde é feita uma revisão holística da própria metodologia e uma síntese dos resultados obtidos com sua aplicação. A Revisão Holística busca evoluir a própria abordagem transdisciplinar de processos CT²P por meio das “lições aprendidas”, a partir da aplicação do seu Framework no estudo de caso que acabou de ser realizado.

2.3. Definição do Problema

O domínio do problema de interesse nesse trabalho é a fase de design do Projeto de Engenharia de Sistemas, como descrito no SEBoK (*Systems Engineering Body of Knowledge*) da BKCASE (*Body of Knowledge and Curriculum to Advance Systems Engineering Project*) (BKCASE, 2009). Para conduzir o estudo de caso na aplicação da abordagem CT²P nesse trabalho decidiu-se usar uma versão modificada do modelo de referência (SEBoK).

Antes de entrar em detalhes sobre esse modelo de Gestão do Ciclo de Vida de Produtos (do inglês, Product Lifecycle Management - PLM) propriamente, é útil defini-lo no contexto de um escopo mais amplo, abrangendo o modelo de Gestão do Ciclo de Vida da Organização (do inglês, Organization Lifecycle Management - OLM) fazendo uso do PCF (*Process Classification Framework*) da APQC (*American Productivity and Quality Center*) (APQC, 2014), que engloba tanto o produto quanto a organização responsável pelo seu desenvolvimento.

A Figura 2.2 ilustra os escopos onde os conceitos de Gerenciamento de Ciclo de Vida do Sistema (do inglês, System's Lifecycle Management - SLM) – Gerenciamento do Ciclo de Vida da Organização (OLM) ou Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM) - e seus respectivos Modelos de Referência (do inglês, Reference Model - RM) são usados nesse trabalho.

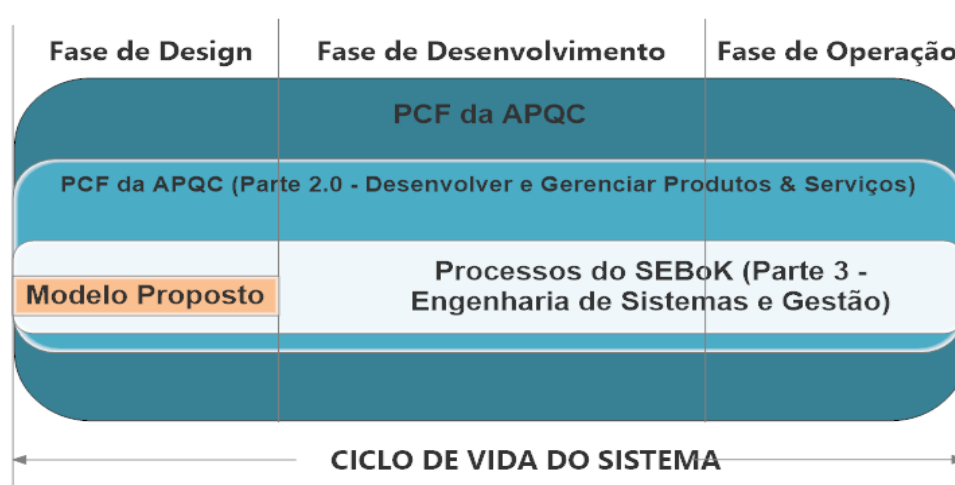


Figura 2.2 – Ilustração sobre o contexto do PCF da APQC e o SEBoK

O modelo de referência OLM é descrito de acordo com um processo de visão holística, baseado em uma visão global da organização, englobando todas as fases OLM, desde sua visão estratégica, passando pelo desenvolvimento do produto, colocação em operação, gerenciamento da operação e do cliente, até o descarte do produto final. Nesse contexto, PLM é considerado uma parte da OLM, como indicado na seção 2.0 do PCF da APQC. O modelo de referência OLM compreende a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos e os processos do ciclo de vida de produto - sob o ponto de vista de um engenheiro - e o Gerenciamento de Ciclo de Vida do Produto e Gerenciamento do Processo de Negócios - sob o ponto de vista de um administrador. Isso fica claro na Figura 2.2, que mostra o macroprocesso desenvolvimento e gestão de produtos e serviços, compreendendo a engenharia de produto e a gestão dos seus processos de desenvolvimento. Entretanto, a seção 2.0 do PCF da APQC não apresenta uma descrição detalhada sobre como esses processos genéricos devem ser descritos, aparentemente porque eles são deixados para serem definidos para cada tipo específico de indústria.

No estudo de caso aqui apresentado, o modelo de referência genérico proposto para representar esses processos de desenvolvimento e gerenciamento de produtos e serviços é principalmente baseado na descrição do modelo dos processos do ciclo de vida da engenharia de sistemas, apresentados em detalhe na parte 3 do SEBoK e ilustrado na Figura 2.3. Qualquer organização que tenha a Engenharia de Sistemas (ES) como o driver principal de seus processos de produção podem fazer uso dos conceitos e definições de PLM e OLM dados no SEBoK para descrever sua fase de design do produto de acordo com o modelo de referência mencionado acima. A designação “Sistema” pode ser associada a um produto específico ou a toda a organização, de acordo com o modelo de estrutura apresentado na Figura 2.3. Nela estão detalhados a fase de Design do Ciclo de Vida da ES com seus processos principais, sua decomposição, seu sequenciamento e as realimentações entre esses processos, de acordo com o formato mostrado na imagem original obtida das descrições dos processos de ciclo de vida de engenharia de sistemas, documentadas no manual SEBoK (2015).

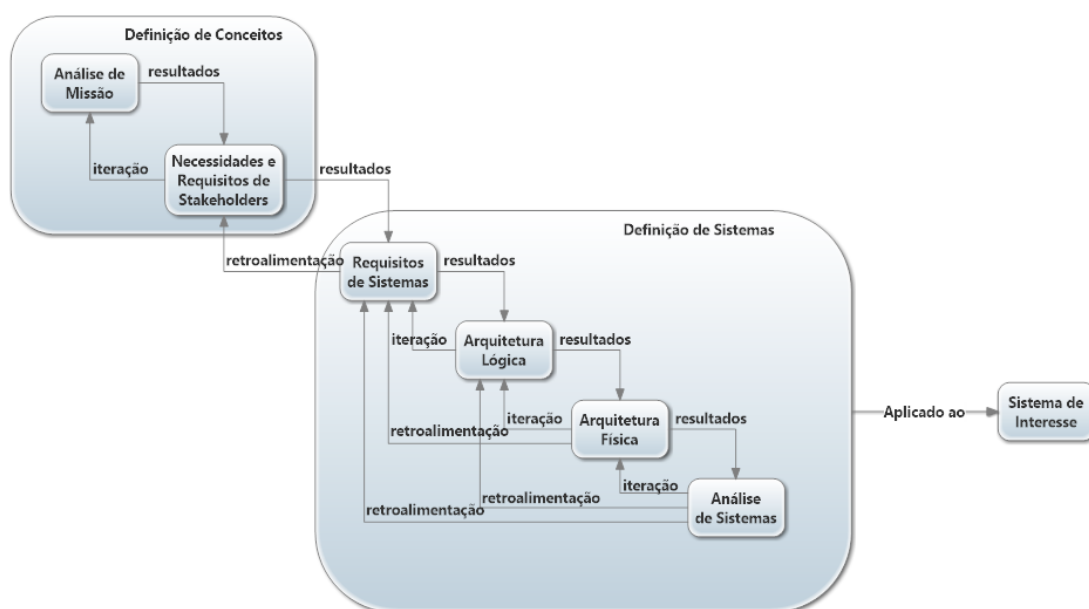


Figura 2.3 – Macroprocessos da fase de Design do Ciclo de Vida do Produto
Fonte: SEBoK (2015)

O SEBoK define que o Ciclo de Vida completo da ES compreende 4 (quatro) macroprocessos, a saber: Fase de Design, Fase de Desenvolvimento, Fase de Operação e Descarte.

A Fase de Design do ciclo de vida da ES é a fase do projeto onde o sistema está sendo concebido e especificado, de acordo com o SEBoK. Ela compreende os dois macroprocessos: (1) o macroprocesso de Definição de Conceitos, que pode ser dividido, por sua vez, em dois subprocessos designados por Análise de Missão e Necessidades e Requisitos de Stakeholders; (2) o macroprocesso Definição de Sistemas, que consiste por sua vez de quatro outros subprocessos, denominados Requisitos de Sistemas, Arquitetura Lógica, Arquitetura Física, e Análise de Sistemas. Durante a execução do modelo, várias iterações e/ou realimentações (ciclos, retornos) são realizadas, até que o resultado final seja alcançado, isto é, a definição e a especificação completa do Sistema de Interesse (Sol) seja alcançada.

2.4. Ajustes gerais ao modelo SEBoK

O modelo de referência de processos da fase de design da ES proposto nesse trabalho é baseado nos processos SEBoK do ciclo de vida da ES apresentados acima, mas é importante lembrar que alguns ajustes precisaram ser feitos, ligados a aspectos que são considerados essenciais para os objetivos do contínuo projeto de pesquisa CT²P. A primeira modificação importante se refere ao significado do processo designado como Análise de Missão. No modelo original SEBoK, ela refere-se ao modelo de referência da empresa, com sua visão estratégica e inserção em seu segmento de mercado. Nesse trabalho esse processo está relacionado diretamente ao produto ou, em outras palavras, deve se referir à análise da missão do produto, como expressado em outras normas de engenharia, como as da ECSS (2009) e NASA (2013), por exemplo. Além disso, foi decidido dividir o processo de análise da missão em duas partes, denominadas Análise de Missão e Análise de Viabilidade, conforme as normas ECSS, que foram escolhidas como a norma preferível a ser adotada, devido à expertise já existente por parte do pessoal interno do INPE envolvido nos projetos de sistemas espaciais.

Ao lado dessas modificações, é necessário se observar alguns ajustes gerais adicionais que precisam ser feitos com o modelo de referência original, a saber: (1) a inclusão do processo de Planejamento dentro do macroprocesso de Definição de Conceitos; (2) a inclusão do processo de Análise do Sistemas dentro do macroprocesso de Definição de Sistemas, que não existia na Figura 2.3 original, mas que havia sido parte da descrição textual no modelo de referência original do SEBoK; (3) a introdução de diferentes designações (iterações, retrabalhos, e revisões) para os diversos tipos de ciclos (loops) existentes na imagem original; e (4) a adoção da convenção de que o fluxo de controle é passado sempre para o processo subsequente, mesmo que não haja alterações a serem feitas no produto e/ou os artefatos executados por aquele processo (o que acarreta que esses processos não sejam realmente executados e o controle seja passado adiante aos processos seguintes do ciclo de vida). Os ajustes gerais feitos ao modelo SEBoK estão apresentados na Figura 2.4 a seguir.

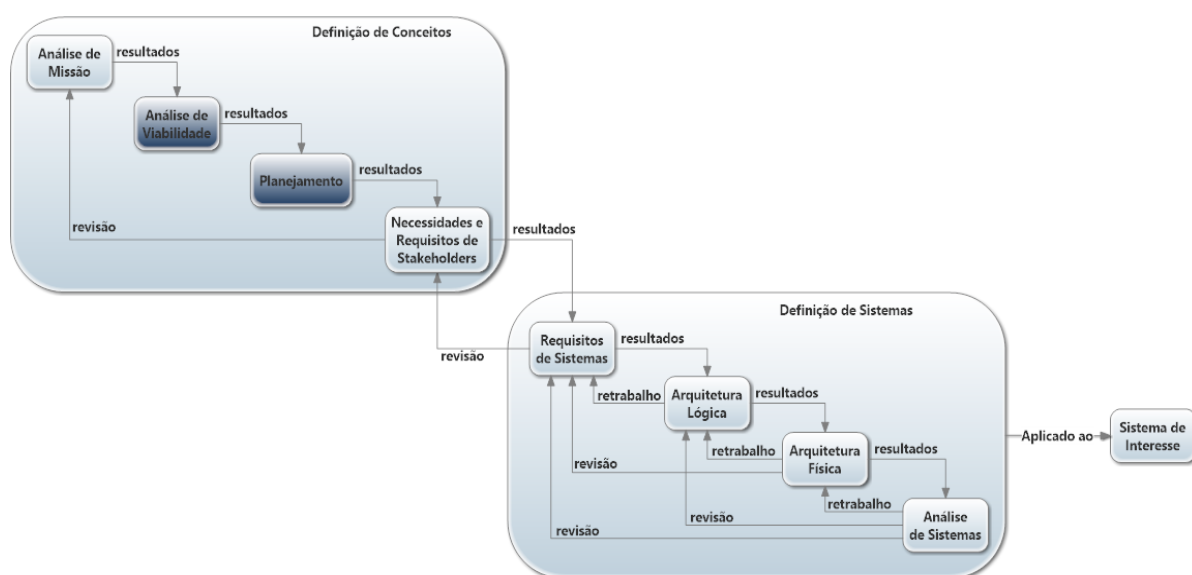


Figura 2.4 – Macroprocessos da fase de Design do Ciclo de Vida do Produto
Fonte: Modificado de SEBoK (2015)

Uma diferenciação entre os três tipos de ciclos de realimentações existentes no modelo foi considerada importante, que passaram a ser classificadas e denominadas de acordo com as seguintes definições:

- Iterações: repetidas execuções internas do mesmo processo, visando sua conclusão, até que seu produto final seja obtido;
- Retrabalho: um ciclo entre dois processos consecutivos, com o objetivo de realizar um retrabalho para a melhoria gradual do resultado obtido, após a execução desses processos consecutivos, quando eles pertencem ao mesmo macroprocesso e/ou fase de um projeto.
- Revisões: um ciclo entre dois processos não-consecutivos, que pode pertencer a um único macroprocesso ou macroprocessos diferentes, para a revisão de algo que deveria ter sido realizado em etapas anteriores do ciclo de vida da entidade, mas que precisa ser redefinido ou sofrer uma grande revisão.

2.5. Ajustes aos padrões de Gerenciamento de Projetos

O Gerenciamento de Projetos (PM) tem como objetivo o planejamento e coordenação do fluxo de atividades necessário para produzir um produto ou serviço satisfatórios, sujeito a algumas limitações em relação a disponibilidade de tempo, orçamento, materiais e de recursos humanos, bem como às limitações da infraestrutura e da tecnologia existentes. Pode ser visto como a aplicação de algumas técnicas e ferramentas do conhecimento geral sobre gerenciamento de projetos no intuito de ampliar e complementar atividades de engenharia de sistemas diretamente relacionadas a especificação de produto - processos de manufatura - com essas atividades adicionais necessárias para o gerenciamento do completo ciclo de vida de desenvolvimento do produto - processos de gerenciamento da produção.

O Guia de Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (PMBOK®) (PMI,2014) é considerado o manual de referência por excelência em gerenciamento de projetos e descreve as práticas fundamentais que gerentes de projetos precisam seguir para alcançar altos padrões de excelência em seus projetos. Tomando isto como base, a adaptação do modelo aos preceitos por ele estabelecidos, decidiu-se incorporar ao modelo de engenharia um processo chamado de Planejamento. Este processo é composto por alguns

subprocessos, considerado os mais relevantes entre as nove áreas de conhecimento dos projetos de gerenciamento, a saber: o processo de Iniciação e os quatro processos adicionais chamados Gerenciamento de Escopo, Gerenciamento de Tempo, Gerenciamento de Custo e Gerenciamento de Risco, conforme descritos nos Capítulos 4, 5, 6, 7 e 11, respectivamente, do PMBOK.

Como consequência das mudanças introduzidas para ajustar o modelo aos padrões do Gerenciamento de Projetos, os macroprocessos Definição de Conceitos passou a incluir o processo de Planejamento, e sua composição final resultou nos seguintes subprocessos: Análise de Missão, Análise de Viabilidade, Planejamento, Necessidade e Requisitos de Stakeholders. A segunda macro Definição de Sistemas não sofreu nenhuma alteração, e manteve seu formato original de acordo com o SEBoK (2015), como apresentada na Figura 2.4.

2.6. Ajustes aos padrões de Engenharia de Sistemas Espaciais

O modelo proposto apresentado nesse trabalho foi baseado nos processos SEBoK, permitindo que o mesmo represente de forma mais generalizada e detalhada possível o ciclo de vida da engenharia de sistemas no tocante à Fase de Design. Essa maneira de proceder permite ótima generalização do modelo de referência, que deve cobrir diferentes tipos de desenvolvimento de produtos e seus respectivos processos de ciclos de vida, mas isso requer ajustes adicionais, caso se queira tornar o modelo compatível com os padrões de engenharia de sistemas espaciais, como os preconizados pelas normas ECSS e pela NASA.

A fim de ajustar o modelo para ser utilizado no contexto de missões espaciais, foi necessário dividir o processo de Análise de Missão SEBoK (2015) em processos de Análises de Missão e Análise de Viabilidade, para adequação aos padrões ECSS, especificamente aos padrões ECSS-M-ST-10C (ECSS, 2008) e ECSS-E-ST-10C (ECSS, 2009), conforme descritos abaixo.

2.6.1. Análises da Missão

De acordo com os padrões ECSS, o processo de Análise da Missão consiste na execução de um número de atividades definidos em uma lista, resumidas a seguir: (1) Elaborar a declaração de missão contendo a identificação e caracterização de suas necessidades e objetivos, sua performance esperada, confiabilidade e requisitos de segurança, bem como as restrições operacionais com respeito ao meio ambiente operacional e físico; (2) Desenvolver as especificações dos requisitos técnicos preliminares; (3) Identificar possíveis alternativas de conceitos de missão; (4) Fazer uma avaliação preliminar do plano estratégico idealizado com base no mercado e na análise econômica; e (5) Realizar uma análise de risco preliminar.

2.6.2. Análise de Viabilidade

O processo de Análise de Viabilidade foi incorporado ao modelo, considerando as normas descritas na ECSS referentes ao gerenciamento, à engenharia de sistemas, e à avaliação da qualidade do produto em projetos espaciais e suas aplicações, a saber: ECSS-E-ST-10C – Engenharia Espacial: Requisitos Gerais da Engenharia de Sistemas (ECSS, 2008); e ECSS-M-ST-10C – Gerenciamento do Projeto Espacial: Planejamento e Implementação (ECSS, 2009).

A Análise de Viabilidade consiste na execução de uma lista de atividades, resumidas no seguinte: (1) Estabelecer um plano de projeto preliminar para a engenharia, gerenciamento e a avaliação de qualidade do produto; (2) Elaborar os conceitos de sistema - operação e sua arquitetura - e compará-los com as necessidades identificadas, para determinar seus níveis de incertezas e riscos; (3) Estabelecer a árvore de funções; (4) Avaliar a viabilidade dos planos programáticos e técnicos, por meio da identificação das restrições associadas com a implementação, tais como custos, cronograma, organização, operações,

manutenção, produção e disposição; (5) Identificar tecnologias críticas e propor atividades de pré-desenvolvimento; (6) Quantificar e caracterizar elementos críticos para conduzir análise de viabilidade técnica e econômica; (7) Propor conceitos sistêmicos, operacionais e soluções técnicas, incluindo o modelo inicial e a abordagem para sua verificação na subsequente fase de desenvolvimento; (8) Avaliar os riscos.

A abordagem CT²P é demonstrada a seguir de forma detalhada, aplicando-a ao problema descrito em um procedimento passo-a-passo, de acordo com a metodologia e o seu método de implementação mostrados em (Kienbaum, 2015).

2.7. Modelagem Conceitual

A gradual evolução do modelo é o principal objeto de interesse da fase de modelagem conceitual. O modelo de engenharia do SEBoK (2015), já com seus ajustes para adequação à engenharia de sistemas espaciais e ao gerenciamento de projeto, que descreve os aspectos essenciais relacionados ao processo de transformação - processos de gerenciamento e técnico ou operacional - é o ponto de partida do procedimento de modelagem conceitual.

A Fase Modelagem Conceitual é realizada através de uma atividade denominada Análise, que consiste em duas tarefas, a primeira relacionada com a descrição da estrutura do processo hierárquico - chamada Modelagem Descritiva ou Criação do Modelo IDEF0 - e a segunda com a sua descrição dos ciclos de vida dos processos das entidades – chamada Modelagem dos Processos ou Criação do Meta-Modelo de Referência.

2.7.1. Criação do Modelo IDEF0

A primeira tarefa da fase de Modelagem Conceitual faz uso de técnicas típicas da SE, a criação dos diagramas de modelagem de funções IDEF0, para a decomposição do modelo macro de processos, a sua definição detalhada de acordo com a notação IDEF0, e a documentação dos mesmos.

IDEF0 (do inglês, *Integration Definition for Function Modelling*) é um método criado para modelar as decisões, ações e atividades de uma organização ou sistema (FIPS, 2015). Modelos de IDEF0 efetivos ajudam a organizar as análises de um sistema e a promover boa comunicação entre o analista e o cliente. IDEF0 é útil ao estabelecer o escopo de uma análise, especialmente para uma análise funcional. Como uma ferramenta de comunicação, a notação IDEF0 eleva o envolvimento do especialista de domínio e a tomada de decisões consensuais, pela construção de descrições gráficas simplificadas. Como uma ferramenta de análise, o IDEF0 ajuda o modelador a identificar quais são as funções realizadas, o que é necessário para realizar essas funções, o que o sistema atual faz de forma correta e aquilo que faz de forma errada. Assim, os modelos IDEF0 são frequentemente criados como uma das primeiras tarefas de modelagem do processo de desenvolvimento de sistemas.

Na criação do modelo IDEF0 é feita uma decomposição hierárquica do ciclo de vida descritivo dos macroprocessos componentes, sem que haja preocupação com o sequenciamento dos seus subprocessos resultantes. O objetivo da criação do modelo IDEF0 é identificar e definir melhor os próprios processos componentes e seus parâmetros de interesse, tais como as entradas, saídas, recursos utilizados, e os controles e normas a que estão submetidos.

Cada atividade ou função no modelo IDEF0 pode ser decomposta em várias camadas ou níveis, adotando-se para os níveis subsequentes as mesmas convenções utilizadas nos anteriores. Um modelo IDEF0 completo é, portanto, uma representação hierárquica dos processos componentes de um sistema, descritos por meio de sua decomposição interna em atividades ou funções, em quaisquer números de níveis necessários para se atingir a descrição completa e detalhada do modelo, dentro da limitação do nível de granularidade e detalhamento desejado.

O Modelo IDEF0 dos processos da Fase de Design do ciclo de vida da SE é mostrado na Figura 2.5, mostrando o macroprocesso Definição de Conceitos - composto pelos processos Análise de Missão, Análise de Viabilidade, Planejamento, Necessidades e Requisitos de Stakeholders - e o

macroprocesso Definição de Sistemas - composto pelos processos Requisitos de Sistemas, Arquitetura Lógica, Arquitetura Física e Análise de Sistemas.

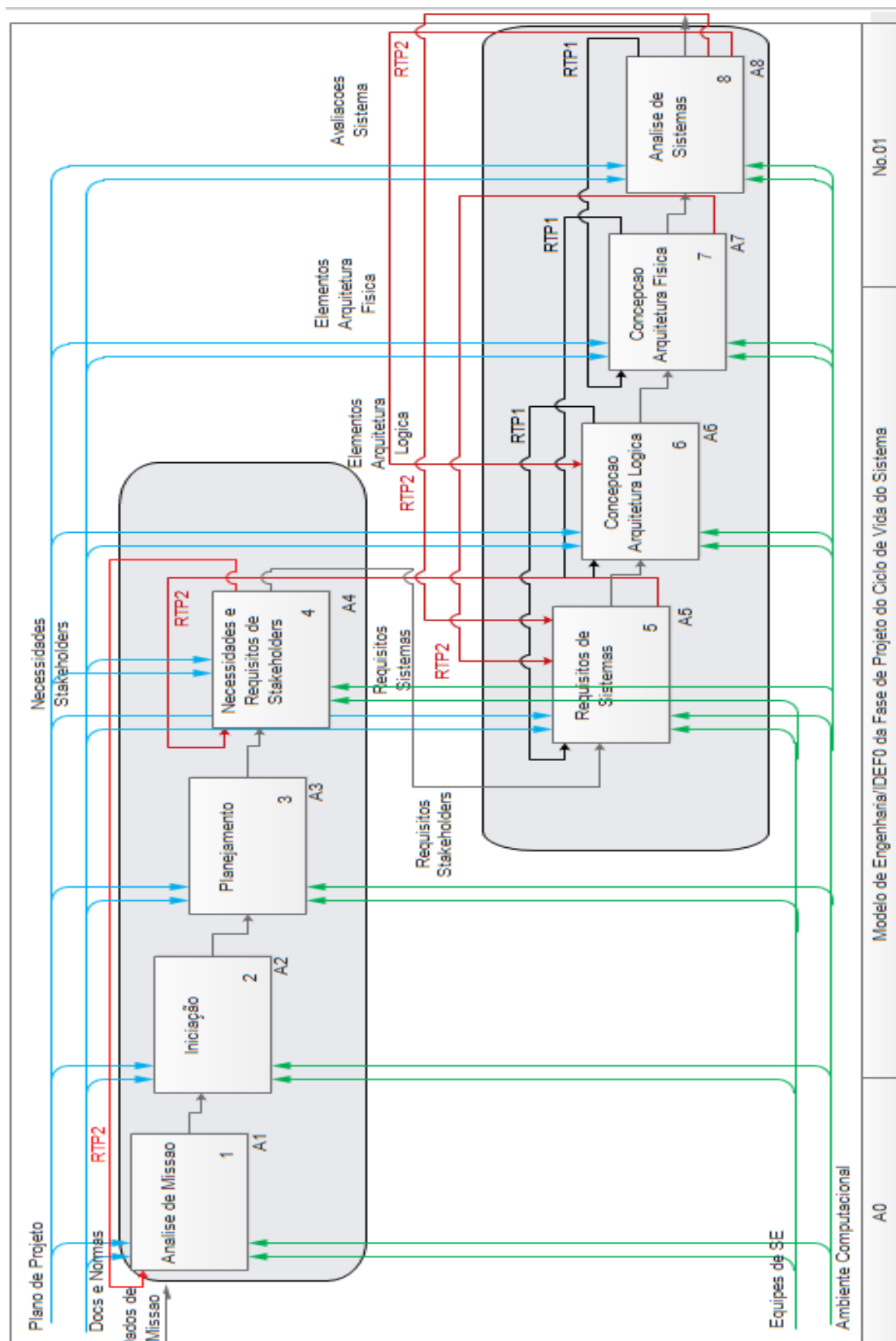


Figura 2.5 – Modelo IDEF0 – Fase de design – Definição de Conceitos e Definição de Sistemas

A Figura 2.5 apresenta somente o nível mais alto de representação chamado nível 0 (Zero), mas o modelo IDEF0 completo descreve todos os processos componentes da estrutura hierárquica, com seus parâmetros de interesse relevantes, como por exemplo: suas entradas; as regras de controle e as normas que devem cumprir; os recursos ou mecanismos utilizados em sua execução; e seus resultados, em termos de seus produtos finais e artefatos obtidos, quando os processos estiverem concluídos.

2.7.2. Criação do Meta-Modelo de Referência

A segunda tarefa da Fase de Modelagem Conceitual é a Criação do Meta-Modelo Referência, uma tarefa que faz uso do modelo descritivo para a adição da sequência de execução ou ciclo de vida dos processos das entidades, conhecido como criação do *workflow* (Van der Aalst, 2003). O *workflow* para execução de processos é adicionado nesse estágio do ciclo de vida do desenvolvimento do Modelo Unificado fazendo-se uso da notação DMUCV (Kienbaum, 2015).

A criação do meta-modelo de referência é a atividade da sistemática gradual da abordagem CT²P que garante a completude e a uniformização das informações relevantes sobre os modelos especializados de processos a serem criados futuramente, revelando-se como uma etapa muito importante do processo de modelagem e sendo vista como a pedra fundamental sobre a qual se assenta a própria metodologia CT²P e suas ferramentas de apoio.

O meta-modelo de referência completo de um sistema é um modelo genérico dos processos do ciclo de vida desse sistema contendo: o mapa completo de processos que o compõem, exibidos de forma hierárquica e com a sequência de execução dos mesmos; os principais atores ou agentes e os respectivos ciclos de vida de processos pelos quais esses atores ou agentes são responsáveis, separados em piscinas e raias; a completa descrição das entradas e saídas - artefatos e mensagens consumidas ou geradas por processos; as regras de controle e normas usadas para transformações; os recursos humanos e materiais – mecanismos - usados pelos processos; os

mecanismos de roteamento e o fluxo de controle para a execução dos processos; os diversos tipos de ciclos de realimentações, que expressam algum tipo de iteração, retrabalho ou revisão dos produtos e artefatos, que já deveriam ter sido previamente concluídos; as interações e links de conexões exibidos dentro de raia ou atravessando suas fronteiras, interligando os processos.

O meta-modelo de referência DMUCV da fase de design de engenharia de sistemas é mostrado na Figura 2.6, descrevendo somente o maior nível de representação, com suas entradas e saídas, seu sequenciamento de execução, os recursos humanos e as conexões e interações interligando esses processos, correspondendo apenas aos macroprocessos Definição de Conceitos e Definição de Sistemas.

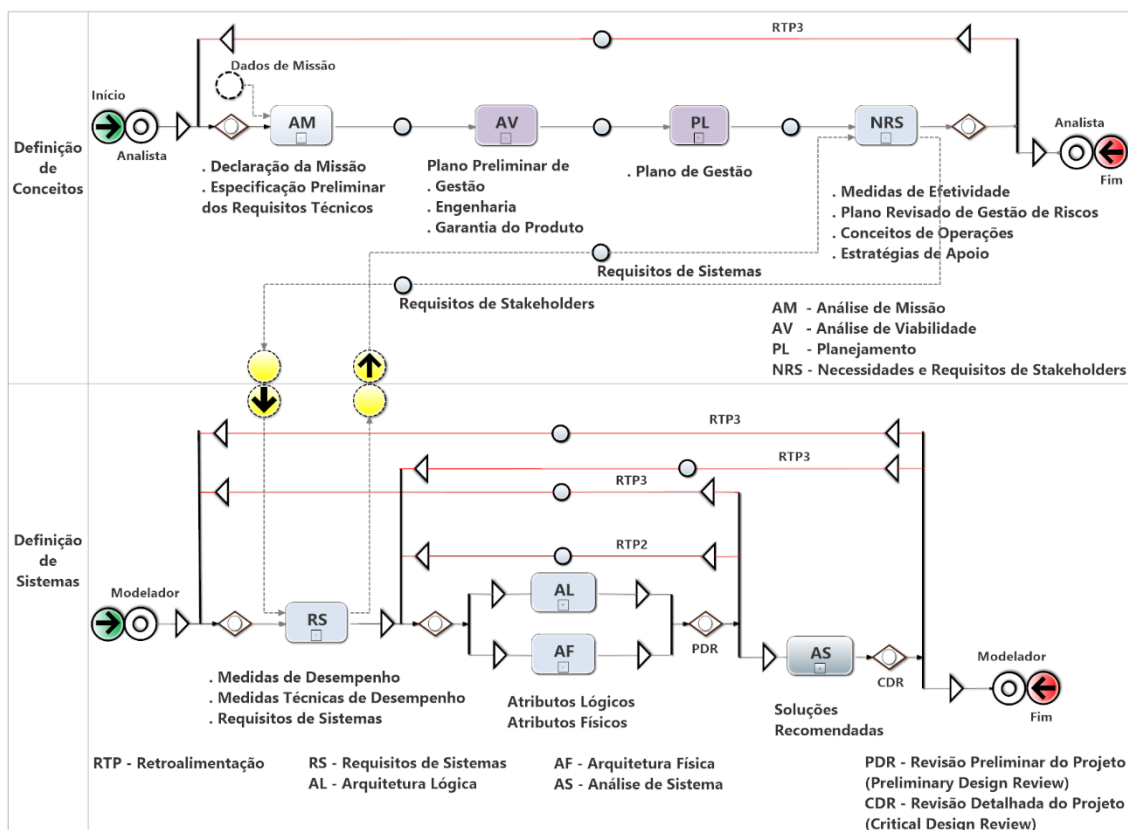


Figura 2.6 – Modelo DMUCV - Fase de design – Definição de Conceitos e Definição de Sistemas

Por fim, é importante enfatizar mais uma vez que, apesar de recorrer a mecanismos típicos das visões do mundo de ES e Simulação de Sistemas (SIM) para a sua elaboração, o meta-modelo de referência dos processos criado como apresentado na Figura 2.6 descreve a lógica do processo de uma forma muito abstrata, que é independente das representações específicas existentes nas disciplinas individuais componentes da CT²P (Kienbaum, 2015), que serão apresentadas a seguir.

3 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS ESPECIALIZADOS

Este Capítulo descreve a primeira etapa da criação dos modelos especializados, que consiste na criação dos modelos descritivos (estruturais) de acordo com cada uma das disciplinas. Esta etapa da aplicação da metodologia é seguida pela implementação dos modelos operacionais, isto é, os aplicativos a serem utilizados para auxiliar na execução e gestão dos processos.

No final do processo de desenvolvimento dos modelos especializados, o conjunto integrado dos aplicativos com o uso das ferramentas oriundas das diversas técnicas servirá como um PLM básico para gerenciar o ciclo de vida dos processos de SE. Este PLM básico é utilizado para a formulação das medidas de apoio à decisão a serem adotadas para superar gargalos, melhorar o desempenho geral do modelo e implementar melhorias contínuas nos processos de engenharia e gestão componentes do sistema.

As diversas visões de modelagem apresentadas neste Capítulo se complementam, devido ao fato de que todos os modelos especializados estão baseados no modelo de referência criado anteriormente, adotando-se uma abordagem sistemática para a sua implementação.

3.1. A Modelagem na Visão da Engenharia de Sistemas

A Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos – do inglês, Model Based System Engineering (MBSE) – é definida em MBSE (2016) como sendo: “a aplicação formalizada de técnicas de modelagem para auxiliar a definição e especificação dos requisitos de sistema, seu design, análise, verificação e validação das atividades, estendendo-se desde a fase de design conceitual do produto e continuando ao longo do seu processo de desenvolvimento e demais fases do seu ciclo de vida”.

MBSE é parte de uma tendência já bem estabelecida, dirigida para a adoção de abordagens centradas-no-modelo, adotadas por diversas disciplinas de engenharia, incluindo mecânica, elétrica e de software. Em particular, MBSE é

vista como a substituição de abordagens do tipo centrada-na-documentação, que eram praticadas por engenheiros no passado, e que se tornará a prática “de fato” a influenciar a engenharia de sistemas, por se constituir em uma técnica totalmente integrada com o conceito de ciclo de vida dos processos da engenharia de sistemas. Por meio da aplicação de MBSE espera-se obter benefícios significativos em relação à adoção de abordagens do tipo centrada-na-documentação, pelo aumento da produtividade e da qualidade, pela redução dos riscos, e pela melhoria das comunicações entre as equipes de desenvolvedores de sistemas.

A designação básica do modelo de engenharia de sistemas é usada nesse trabalho para referir-se aos processos de transformação - processos essenciais componentes do desenvolvimento do produto - pelo quais passa o produto durante o seu ciclo de vida. Ele é usado como uma base para estruturar toda a informação disponível sobre o produto, desde sua concepção ao seu descarte.

O modelo de engenharia de sistemas é um modelo descritivo e faz uso dos diagramas IDEF0 e do modelo de referência como seu elemento estrutural. O modelo de engenharia de sistemas complementa a informação descritiva no modelo muito além dos dados utilizados nas notações dos diagramas IDEF0, como entradas, produtos, recursos e controles pertencentes às atividades, e também dos dados sobre o sequenciamento dos processos - *workflow* - representados no modelo de referência. O modelo de engenharia de sistemas provê informações adicionais sobre os artefatos que são gerados durante o ciclo de vida do sistema, bem como para a manutenção do controle da configuração do sistema como um todo, isto é, o modelo final de engenharia de sistemas representa a descrição mais completa do sistema a ser desenvolvido.

Outra importante observação que precisa ser feita é que esse tipo de modelo é um “modelo descritivo”, isto é, ele não é um modelo executável para ser utilizado na gestão, mas sim uma forma de documentação do sistema com as informações completas sobre o ciclo de vida de desenvolvimento de produto, semelhante a uma “receita de como produzir o sistema” ou “mapa da estrada”, feitos sob o ponto de vista de um engenheiro.

No exemplo apresentado no estudo de caso realizado para a demonstração do framework CT²P feito neste trabalho, a documentação do modelo de engenharia faz a especificação detalhada de todos os processos e das atividades componentes das fases de Definição de Conceitos e Definição Sistemas. Isto abrange os dados relativos a cada uma das atividades - nome, duração, entradas, controles, saídas – bem como a manutenção do controle de configuração destes modelos, à medida que eles vão sendo evoluídos e implementados. Adicionalmente, fez-se necessária a introdução de informações sobre os artefatos utilizados como entradas e aqueles criados pelos processos individuais da SE. Uma ferramenta de desenho gráfico, chamada SMARTDRAW®, foi usada para apoiar este tipo de modelagem.

3.2. A Modelagem na Visão de Gerenciamento de Projetos

Segundo o Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (PMI, 2013): “projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo”. A natureza temporária dos projetos indica que eles têm um início e um término definidos.

O gerenciamento do projeto visa planejar e coordenar as atividades necessárias para desenvolver um produto ou serviço satisfatório, dentro dos limites impostos por um conjunto de critérios, tais como cronograma, orçamento, recursos, infraestrutura, recursos humanos e tecnologia disponível.

A maneira tradicional para descrever um projeto é representando-o como uma rede sequencial de atividades, por meio de diagramas conhecidos como Avaliação de Programas e Técnica de Revisão (do inglês, Program Evaluation and Review Technique - PERT) (Sharma, 2006). PERT é uma técnica muito conhecida e bem documentada, utilizada para o gerenciamento de projetos de engenharia, tenha ele a natureza de um serviço ou de um produto industrial, visando o planejamento, a execução, e o controle do seu processo de desenvolvimento.

No framework CT²P, a modelagem segundo a visão de gerência de projetos é vista como a aplicação das técnicas de gerenciamento de projetos usando uma visão orientada à processos, e auxiliada por ferramentas de software, para expandir o modelo SE com as atividades necessárias relacionadas aos processos de desenvolvimento e de gestão da produção ao longo do ciclo de vida inteiro do produto.

O modelo para Gerenciamento de Projetos - em inglês, Project Management (PM) - estende o modelo de processos da SE com os processos PM adicionais e explicita as relações entre estes dois tipos de modelos.

Os modelos especializados para gerência de projetos são criados baseados na representação do meta-modelo de referência anteriormente descritos com os diagramas DMUCV. O sequenciamento das atividades (serial ou paralelo) nesse modelo segue o mesmo padrão já estabelecido nos modelos DMUCV.

Uma ressalva especial deve ser feita com relação aos ciclos fechados ou realimentações existentes nos modelos DMUCV. Cada um desses ciclos que se deseja representar nos diagramas PERT acarreta uma ramificação entre duas atividades subsequentes, onde o caminho direto corresponde à execução sem necessidade de qualquer retrabalho, e o caminho alternativo representa o retrabalho ou revisão necessários naquele ponto da execução do ciclo de vida do produto. Este acréscimo de tempo e esforço está relacionado com uma ou mais repetições das atividades componentes do bloco que terá que ser repetido para a conclusão satisfatória dos processos que resultaram na falha identificada.

A duração de cada atividade individual é ajustada para que as durações totais das fases Definição de Conceitos e Definição de Sistemas estejam em conformidade com os valores a serem especificados para os processos macros do modelo. A Figura 3.1 apresenta o uso da notação do diagrama PERT para representar os macroprocessos da Definição de Conceitos em uma descrição de alto nível. Observe-se a inclusão na forma de uma atividade de retrabalho ou revisão que precisa ser efetuada sempre que se deseja explicitar também

no PERT a existência de um ciclo de realimentação, de acordo com o metamodelo de referência dos processos originalmente descritos em DMUCV.

Figura 3.1 – Modelo PERT – Processos Definição de Conceitos

No estudo de caso descrito neste trabalho, a construção/implementação do modelo especializado de Gerência de Projetos fez uso do ambiente ProjectLibre (2015), uma ferramenta *open source*, que se apresenta como uma alternativa ao Microsoft Project® (MS PROJECT, 2013). O sequenciamento de atividades em ProjectLibre é realizado através da identificação da atividade predecessora de cada atividade.

3.3. A Modelagem na Visão de Gestão de Processos de Negócios

A Gestão de Processos de Negócios (do inglês, Business Process Management – BPM) é uma abordagem estruturada e sistemática para condução de modelagem, análise, execução automática e controle, gerenciamento e melhoria contínua de processos de desenvolvimento e gerenciamento da engenharia de sistemas de produtos e serviços complexos (Rosemann, 2006).

As organizações realizam estudos para aplicação de BPM porque eles proporcionam um excelente meio para uma melhor organização dos processos de engenharia concorrente de seus produtos e serviços. Eles permitem não só o melhor entendimento desses processos, mas também sua análise, execução automática, simulação e melhoramento contínuo.

Apesar dos avanços das metodologias e técnicas associadas a essa área do conhecimento, as organizações ainda enfrentam um cenário complexo para lidar com problemas desse tipo. Essas dificuldades são resultantes de sua necessidade de personalizar e melhorar seus processos de negócios e se dão devido à diversidade, à incompatibilidade e/ou complexidade dos métodos disponíveis, bem como aos elevados custos de implantação de seus sistemas de suporte.

Os processos de desenvolvimento do produto e de gestão da produção são representados fazendo-se uso de uma notação chamada Notação para a Gestão de Processos de Negócios (do inglês, Business Process Management Notation – BPMN). Para tanto são utilizadas ferramentas de software específicas, e a notação BPMN padrão acima mencionada para se desenvolver os diagramas denominados Diagramas de Processo de Negócios (do inglês, Business Process Diagrams - BPDs), de acordo com os padrões preconizados pela OMG (2015).

BPDs são somente o começo do ciclo de vida de criação de aplicativos para a Gestão de Processos de Negócio. Estas ferramentas de modelagem costumam estar integradas em ambientes de desenvolvimento completos, conhecidos como Sistemas para a Gestão de Processos de Negócio (do inglês, Business Process Management Systems - BPMS). Esses sistemas dão suporte ao ciclo de vida completo do modelo de processos em estudos de BPM, provendo um ambiente completo para o desenvolvimento de aplicações que agirão como parte dos mecanismos de operação de sistemas reais em tempo real, monitoramento e controle. Um exemplo de um sistema BPMS desse tipo foi utilizado nesse trabalho e pode ser visto em BIZAGI (2013).

Nesse trabalho expedimentou-se o uso do BPMS BIZAGI, que permite a manipulação gráfica amigável dos modelos e sua exportação para outras ferramentas proprietárias existentes por meio das representações do modelo XPDL. Os modelos criados também podem ser simulados, a fim de se analisar sua adesão ao modelo de referência, verificar suas consistências e avaliar estratégias de melhoria dos modelos especializados, a serem integrados como componentes de um ambiente PLM básico.

O aplicativo de gestão para automatização dos processos não chegou a ser concluído, mas ele terá por finalidade a automação da execução do modelo de engenharia no tocante à fase de design do desenvolvimento de projetos de pequenos satélites. A Figura 3.2 mostra a fase de design do ciclo de vida de engenharia de sistemas na notação BPMN, tal como representado na GUI do BIZAGI.

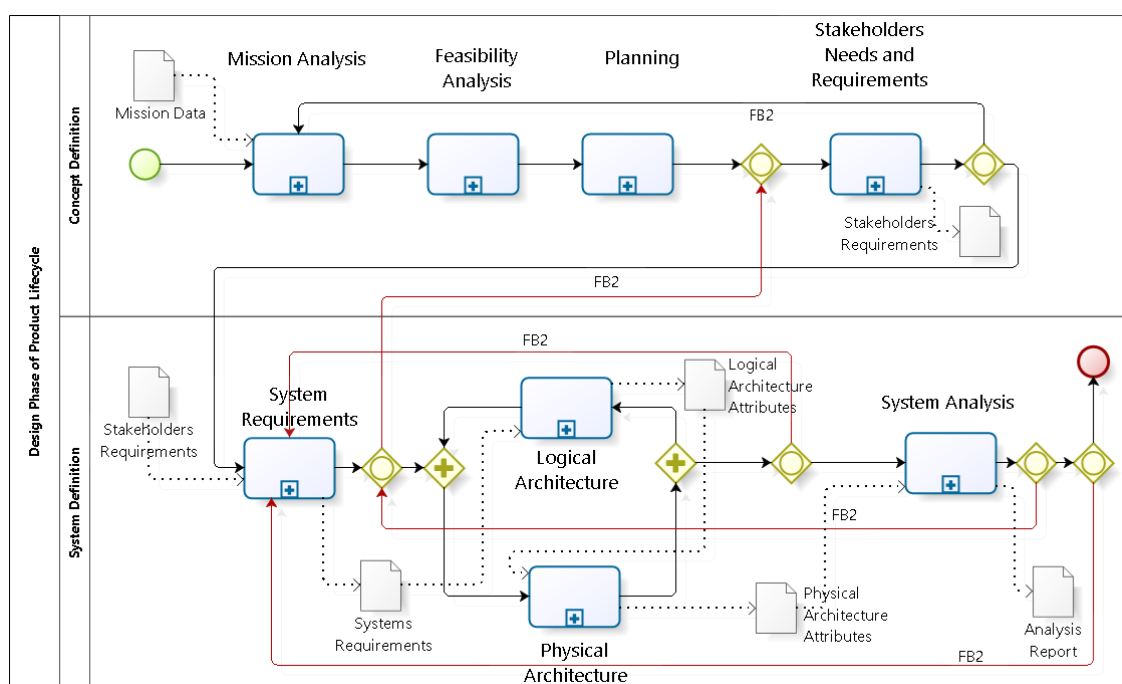


Figura 3.2 – Fase de design ES – Modelo BPMN Definição de Conceitos e Definição de Sistemas

As aplicações criadas com o uso de BPMS contribuem decisivamente para uma melhoria contínua dos modelos de processos e da performance dos sistemas. A sua abordagem baseada no modelo permite o trabalho conjunto e

colaborativo entre os profissionais da área de Tecnologia da Informação (TI), ao longo de todo o ciclo de vida de desenvolvimento do produto.

3.4. A Modelagem na Visão de Simulação de Sistemas

A simulação pode ser vista como o estudo do comportamento de um sistema real, por meio da execução e análise de modelos computacionais representativos dos mesmos. Um modelo incorpora características que permitem a representação do comportamento real do sistema e pode ser usado para a solução de um problema por meio de experimentos, quando a solução por outros meios é muito cara ou mesmo impossível, e quando os problemas são muito complexos para tratamento analítico (Pidd, 1992).

O modelo de referência em notação DMUCV é transformado na notação do modelo de simulação específica e implementado de acordo com as regras utilizadas pelos fabricantes dos sistemas proprietários, como se mostra no exemplo da Figura 3.3, criada com o sistema de simulação de SIMPROCESS® (SIMPROCESS,2014), descrevendo o macroprocesso Definição de Conceitos.

O uso de SIM no CT²P segue a definição tradicional de simulação com a observação de que um está endereçando o agregado dos processos representante da engenharia de sistemas e dos ciclos de vida de gerenciamento de organização.

A aplicação da simulação requer a criação das funcionalidades completas, para a experimentação - planejamento de experimentos - e de quaisquer outros recursos adicionais necessários para análise e apresentação dos resultados.

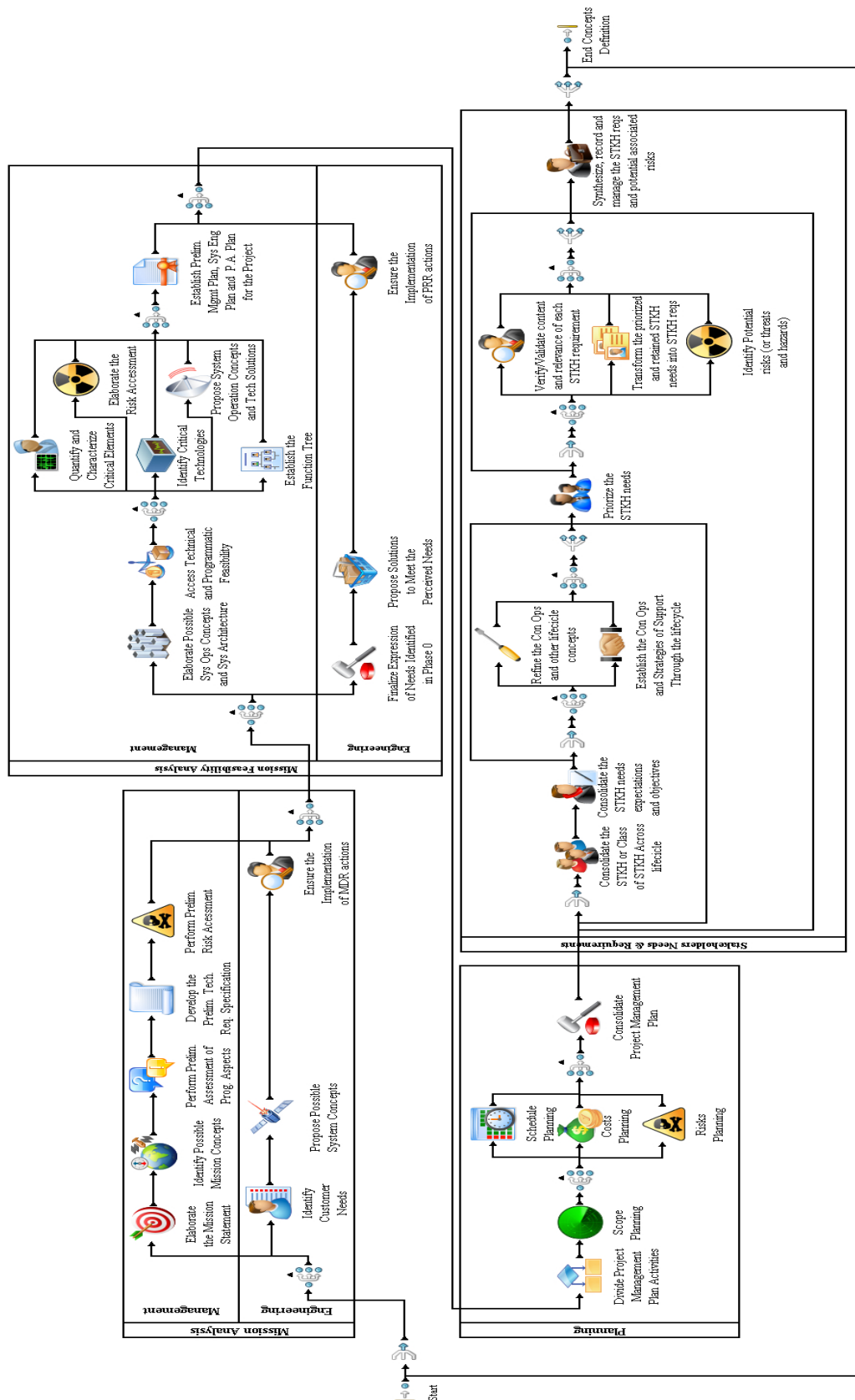


Figura 3.3 – Protótipo de Macroprocessos - Definição de Conceitos

4 PRÉ-PROJETO DO AMBIENTE PLM DE APOIO

Os benefícios potenciais do uso de PLM para inovar, encurtar prazo de entrega e reduzir os custos recentemente atrai muita atenção na indústria e na pesquisa. No entanto, no atual estágio de implementações de PLM na maioria das organizações, nem todos os conceitos de gestão do ciclo de vida do produto são verdadeiramente aplicados. Uma solução global para PLM também não existe, uma vez que as condições e restrições específicas de cada empresa afetam diretamente sua excelência operacional e estratégica, e essas precisam ser levadas em conta na hora de criar e configurar o PLM que apoiará sua estratégia.

A aplicação de ferramentas de software existentes, provenientes de cada uma das áreas de estudo individuais mencionadas aqui, bem como a análise dos seus resultados integrados, podem contribuir para a implementação de um tipo de PLM genérico para servir de ambiente de apoio, capaz de executar engenharia de sistemas, modelagem de processos de gestão e análise num contexto geral, e melhorar de forma significativa a execução e a gestão das atividades do ciclo de vida completo do produto na gestão de projetos (Kelson et al., 2016).

Diversos outros conjuntos de modelos especializados com as ferramentas de apoio às suas implementações poderiam ser usados para compor um ambiente básico PLM, se as ferramentas de software utilizadas possuírem todas as funcionalidades de gestão necessárias para a documentação, monitoramento e controle de configuração de produtos e sua evolução ao longo do seu ciclo de vida, desde sua concepção até seu descarte.

Para a implementação e aplicação do ambiente PLM é necessário que sejam utilizados todos os modelos anteriormente descritos, que sejam feitas a construção e integração das aplicações especializadas de cada disciplina, e que o ambiente seja testado em um estudo de caso.

A abordagem sistemática geral CT²P pode ajudar a integrar e unificar conceitos e ferramentas utilizadas no apoio da SE, PLM, PM e BPM e também a descartar alguns resultados gerais que possam vir a ser inconsistentes, duplicados ou supérfluos obtidos pelo uso das técnicas de estudo individuais. Diversos aplicativos para compor o ambiente de suporte CT²P podem ser implementados a partir de ambientes já existentes em suas respectivas disciplinas de origem, e interfaces adicionais podem ser construídas para a integração dos mesmos.

A arquitetura do ambiente de apoio ainda se encontra em definição, na continuidade deste trabalho este Capítulo descreverá a arquitetura desse sistema, com todos os requisitos e funcionalidades que necessitam ser incorporadas ao mesmo. Um outro Capítulo ilustrará sua aplicação a um estudo de caso, semelhante ao Capítulo apresentado a seguir, descrevendo a aplicação da metodologia CT²P na modelagem de processos da fase de design de pequenos satélites, realizado pelos alunos dos cursos de pós-graduação em engenharia e gerenciamento de sistemas, cursos CSE-326 e CSE-331, durante o ano de 2015.

As potencialidades da metodologia e do ambiente PLM de apoio serão demonstradas pela complementação e implementação completa desse estudo de caso, estendendo-o para incluir os aspectos de operacionalização dos modelos, utilizando os aplicativos a serem desenvolvidos e integrados para a gestão do desenvolvimento de pequenos satélites.

5 ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DE CT²P A PROJETOS DE PEQUENOS SATÉLITES

O estudo de caso aqui apresentado teve sua origem na disciplina CSE-326 - Modelagem e Simulação de Sistemas ministrada no segundo período acadêmico de 2015; e foi concluída na disciplina CSE-331 - Simulação e Gestão de Processos ministrada no terceiro período acadêmico de 2015, ambas do Curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais (CSE), do programa de pós-graduação do Departamento de Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE).

As disciplinas mencionadas acima, foram ministradas pelo Prof. Germano de Souza Kienbaum que teve como projeto de curso, para um período de 06 (seis) meses, a utilização da metodologia transdisciplinar para uso da CT²P para a criação de *Framework* especializado para Engenharia de Sistemas e as respectivas etapas para seu desenvolvimento.

A turma era formada por 10 (dez) componentes, sendo 08 (oito) estudantes de pós-graduação, relacionados abaixo, e mais 02 (dois) professores que atuavam como gerentes, sendo estes os Profs. Germano de Souza Kienbaum (CEO BPM/SIM) e Álvaro Augusto Neto (CEO PLM/ENG).

A aplicação da metodologia CT²P ao estudo de caso envolveu a fase de design do ciclo de vida de pequenos satélites, correspondendo à realização das Fases: Desenvolvimento dos Modelos Especializados - Macroprocessos B (Bricolagem) e C (Construção/Implementação); Fase de Execução – Macroprocessos D (Design de Experimentos) e E (Execução); Fase Finalização; e finalmente a Fase de Avaliação Global. O estudo de caso foi conduzido na forma de projetos de cursos, realizado ao longo de dois períodos acadêmicos por dez alunos de pós-graduação do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas (CSE/ETE).

Abaixo são apresentadas as etapas nas quais foram divididas a realização do estudo de caso, compreendendo as quatro disciplinas envolvidas em CT²P: a

Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos, a Gerência de Projetos, a Gestão de Processos de Negócios e a Simulação de Sistemas.

5.1. Levantamento de Dados e Parametrização dos Modelos

Um survey da literatura foi realizado sobre projetos desta natureza, sendo seus dados apresentados a seguir. Estes dados serão utilizados para a complementação do desenvolvimento dos modelos, desde sua parametrização, implementação, execução e análise.

Para auxiliar na determinação da duração das fases da Definição de Conceitos e Definição de Sistemas, uma pesquisa para a publicação de pequenos satélites foi conduzida, com o objetivo de encontrar dados relacionados a satélites sendo analisados. Nessa pesquisa, foi contemplado também o satélite AESP14 (AESP14,2014), desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia da Aeronáutica (ITA).

Com base no AESP14, verificou-se que a duração da fase de Definição de Conceitos é aproximadamente duas vezes maior do que a fase de Definição de Sistemas. Esse parâmetro foi usado para definir o tempo para outras atividades dentro de cada fase.

O mapa de processo com as atividades consideradas para a construção dos modelos foram os mesmos apresentados anteriormente nos modelos de referência para os macroprocessos Definição de Conceitos (Análise de Missão, Análise de Viabilidade, Planejamento e Necessidades e Requisitos de Stakeholder) e Definição de Sistemas (Requisitos de Sistemas, definição de Arquitetura Lógica, Definição de Arquitetura Física e Análise de Sistemas). Apenas os macroprocessos Definição de Conceitos e Definição de Sistemas, que representam uma fração do tempo de desenvolvimento total foram consideradas.

Um exemplo de interface gráfica utilizada para auxiliar no levantamento e armazenamento de dados dos modelos foi o software ProjectLibre, que permite a organização dos dados do projeto na forma de decomposição hierárquica dos

seus processos e atividades componentes, com suas respectivas durações, conforme pode ser visto na Figura 5.1.

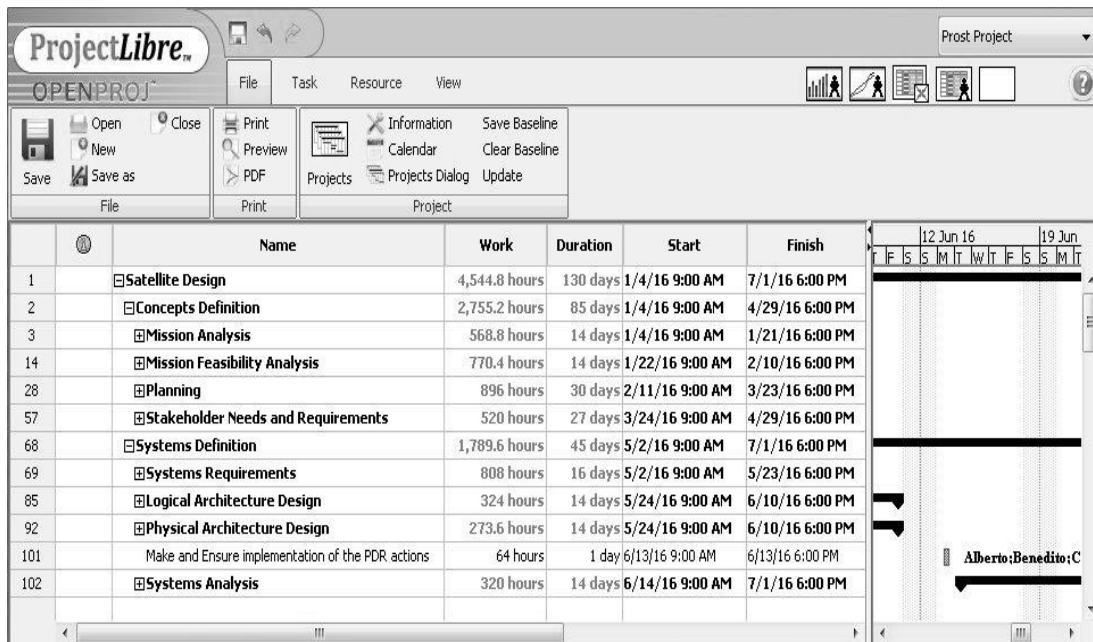


Figura 5.1 – ProjectLibre – Ambiente de suporte para construção do modelo especializado de Gerenciamento de Projetos

Os recursos utilizados foram três gerentes de projeto e dezessete engenheiros de desenvolvimento de produto. Os gerentes de projeto também atuam como engenheiros, apoiando o desenvolvimento dos satélites, se necessário. O grupo de engenheiros consistia em sete doutorandos e dez estudantes de mestrado (MSc). A referência para o custo desses recursos foi assumida como os valores das bolsas mensais concedidos pela CAPES para estudantes de mestrado (R \$ 1.500,00) e estudantes Ph.D. (R \$ 2.200,00). O número de horas de trabalho por dia foi considerado oito horas.

Para a duração das atividades, estimou-se que o tempo total das fases Definição de Conceitos e Definição de Sistemas para o microsatélite, mais complexa, seria de seis meses, correspondente à duração de um semestre em uma universidade. Os satélites restantes, menos complexos, tiveram os tempos de suas atividades reduzidos para refletir o menor esforço.

Vinte recursos foram criados em ProjectLibre. Cada recurso foi dado um nome com a primeira letra correspondente a uma das letras do alfabeto, para facilitar a alocação de atividades.

Em seguida, esses recursos foram alocados para as atividades em ProjectLibre. Essa alocação seguiu, sempre que possível, o meta-modelo de referência descrito em DMUCV. Por exemplo, o processo de análise da missão contém duas colunas, engenharia e gerenciamento. Atividades de gerenciamento devem ser realizadas por gerentes de projeto, enquanto as atividades de engenharia podem ser realizadas tanto pelos engenheiros como pelos gerentes de projeto.

Com esta abordagem, foi possível determinar o número de horas de cada atividade, bem como o número total de horas para o projeto, assim como o seu custo. O ambiente de suporte ProjectLibre também permite a visualização dos por menores da utilização de recursos, que mostra gráficos de evolução do custo de um determinado recurso ao longo do desenvolvimento do projeto. A Tabela 5.1 mostra a duração dos macroprocessos para o microsatélite e a alocação de recursos.

Tabela 5.1 – Dados usados para modelo especializado para o microsatélite BRAZUCA-4

Activity	Work (hs)	Duration (days)	Resources (people)
Satellite Design	4545	130	20
Concepts Definition	2755	85	15
Mission Analysis	569	14	9
Mission Feasibility Analysis	770	14	9
Planning	896	30	7
Stakeholder Needs and Requirements	520	27	3
Systems Definition	1790	45	14
Systems Requirements	808	16	9
Logical Architecture Design	324	14	6
Physical Architecture Design	274	14	7
Product Design Review	64	1	8
Systems Analysis	320	14	2

Idealmente, a determinação da duração de cada atividade deve ser fixada (ou revista) por pessoas com experiência anterior neste tipo de projeto. Na ausência de tais pessoas, exemplos de gestão de projetos similares, disponíveis em artigos científicos, deve ser usado, ou por meio de reuniões com pessoas experientes, que podem orientar essa atividade.

Realimentações são introduzidas como atividades complementares no final de cada processo, e eles são realizados apenas, se forem considerados realmente necessário, caso contrário, o processo é considerado concluído no seu tempo normal. O tempo gasto em realimentações foi estimado inicialmente em cerca de 30% do tempo total original gasto no processo como um todo, uma vez que o tempo necessário para avaliar uma atividade anteriormente realizada é mais curto do que o seu tempo de execução inicial. Pode-se também pensar em fazer uso da simulação para um melhor desempenho das estimativas ou o uso de dados previamente existentes para melhor calibrar este modelo.

5.2. Pré-projeto para Execução e Análise dos Modelos Individuais

As fases de implementação, execução e análise do método de implementação da modelagem unificada do ciclo de vida farão uso de aplicações de suporte, as ferramentas específicas oriundas de cada disciplina, para implementação, execução e análise dos resultados especializados e a realização das suas avaliações individuais. As atividades que comporão as etapas de implementação, execução e análise da abordagem CT²P são definidas em detalhes a seguir:

1. O design de experimentos consiste na elaboração de um plano para a experimentação com o modelo, considerando diferentes cenários, valores de variáveis dos parâmetros de controle, bem como condições diferentes para o modelo de execução (tais como tempo de execução, escolha de valores de variáveis aleatórias e distribuições, entre outros).
2. A experimentação ou modelo de execução consiste na execução dos aplicativos criados com as ferramentas individuais, da melhor maneira

integrada para o seu funcionamento, que tem de ser assegurada por verificação cruzada dos modelos para se certificar de que eles são válidos em relação às especificações do sistema real, que são consistentes em todo seu ciclo de vida, e que fazem uso dos mesmos dados de entrada.

3. A avaliação individual do modelo de processo do ciclo de vida do produto é realizada separadamente para cada aplicativo desenvolvido com base nas diferentes disciplinas. Essa avaliação faz uso das funcionalidades existentes em cada uma das aplicações desenvolvidas, e as conclusões alcançadas e os problemas detectados são utilizados para formular algumas medidas de apoio à decisão para melhorar o desempenho do modelo e elaboração de melhorias do modelo no longo prazo.
4. A execução e acompanhamento dos modelos de processo, de acordo com o ponto de vista de cada uma das técnicas utilizadas, produzindo os resultados necessários para a análise e avaliação multifacetadas do desempenho do modelo de processo.

5.2.1. Design de Experimentos

A proposta para projeto de experimentos elaborada considerou quatro pequenos satélites sendo construídos e implementados. Esses satélites foram apelidados "BRAZUC2AS2", que é um acrônimo para "Cooperação Universitária Brasileira para Concepção Avançada de Pequenos Satélites". Os satélites que foram analisados são BRAZUCA-1 (Pico-satélite), BRAZUCA-2 e BRAZUCA-3 (Nano-satélites) e BRAZUCA-4 (Micro-Satélite). Esses satélites diferem-se por suas diferentes missões e carga útil. A Tabela 5.2 mostra as diferenças entre os quatro satélites analisados.

No tocante à criação dos cenários e no projeto de experimentos é importante que os modelos especializados de todas as disciplinas sejam verificados de forma cruzada, para comprovarem a utilização dos parâmetros que lhe são

comuns, assegurando desta forma que os resultados obtidos sejam válidos para sua utilização no estágio final da avaliação integrada e comparativa, que levarão às conclusões finais sobre o sistema. Por exemplo, a duração de uma atividade particular, e os recursos alocados no modelo especializado de Gerenciamento de Projeto descrito com o ProjectLibre, precisam ter os mesmos valores introduzidos no modelo similar de simulação especializada construído com o ambiente de apoio SIMPROCESS®.

Tabela 5.2 – Caracterização de Satélites

Satélite	Tipo	M (kg)	Missão	Duração	Custo 10 ³ R\$
BRAZUCA-1	Pico	1	Sensoriamento Remoto	2 anos	250
BRAZUCA-2	Nano	5	Navegação por Vento Solar	2 anos	350
BRAZUCA-3	Nano	10	Monitoramento de Irradiação Solar	3 anos	400
BRAZUCA-4	Micro	20	Sensoriamento Remoto	3 anos	1.000

5.2.2. Execução e Análise

Quatro tipos de pequenos satélites (um pico, dois nanos e um micro) foram levados em consideração para propósitos planejamento da execução e análise, todos eles tendo em comum o propósito de serem projetos educacionais, com o intuito de treinar jovens engenheiros na tecnologia espacial, e o uso extensivo de componentes comerciais de prateleira para reduzir custos de desenvolvimento.

Frequentemente, esses componentes não são projetados para aplicações e missões espaciais desses pequenos satélites, dentre outros objetivos, para testes e adaptabilidade desses componentes em ambiente espacial.

Os modelos de quatro tipos diferentes de satélites descritos na Tabela 5.2 acima foram experimentados em diversos cenários, com base nos dados de entrada originais atribuídos à descrição do microsatélite previamente estabelecido. A Tabela 5.3 abaixo resume a parte comum dos dados sobre o

tempo duração e os recursos utilizados nos quatro cenários, sobre os diferentes tipos de pequenos satélites considerados.

Vários experimentos foram realizados variando as durações para as atividades dos macroprocessos Definição de Conceitos e Definição do Sistema para os satélites Brazuca-1, 2, 3 e 4. Por exemplo, o picosatélite Brazuca-1 considera um comprimento mais curto de tempo para as atividades do processo Definição de Conceitos e Definição do sistema, em comparação com Satélite Brazuca-4 mostrado acima, uma vez que há uma redução esperada de esforço no desenvolvimento de satélites Brazuca-1, 2 e 3, devido ao fato de serem menos complexo.

Tabela 5.3 – Experimentação para o satélite BRAZUCA-1 (Picossatélite)

Atividade	T (horas)	T (dias)	Recurso (pessoa)
Design Satélite	2939	85	20
Definição de Conceitos	1800	55	15
Análise de Missão	341	9	9
Análise de Viabilidade	559	9	9
Planejamento	452	14	7
Necessidade e Requisitos de Stakeholder	448	23	3
Definição de Sistemas	1139	30	14
Requisitos de Sistemas	486	10	9
Design Arquitetura Lógica	150	7	6
Design da Arquitetura Física	150	7	7
Product Design Review	64	1	8
Análise de Sistemas	288	12	2

As seguintes premissas foram usadas para essa experimentação, uma vez que os satélites são menores e menos complexos:

- As atividades da arquitetura lógica e física são menores, porque os componentes dos sistemas não precisam ser totalmente desenvolvidos, mas apenas integrados.

- A duração da Análise de Missão deve ser menor. Outras atividades permanecem com tempos semelhantes ao microssatélite.

Em relação à experimentação com o modelo de simulação especializado, as experiências consistiram de executar o modelo, introduzindo os mesmos valores para os parâmetros de controle das quatro classes de pequenos satélites propostas, mas variando o número de vezes que os ciclos de realimentação foram executados no modelo. Estes ciclos de realimentação foram contados em todo o modelo e os experimentos consistiram na execução de várias passagens pelo ciclo de vida de processos de cada entidade, de acordo com o número de vezes que um processo precisa ser repetido para revisão ou retrabalho de uma atividade anterior.

Por exemplo, durante uma Revisão do Modelo de Design (MDR) pode-se identificar a necessidade de revisão de conceitos de missão ou conceitos do sistema, por meio da execução do respectivo ciclo de realimentação do modelo. Neste caso, o usuário deve selecionar um diálogo, apresentado por SIMPROCESS® durante a inicialização da simulação, quantas vezes a entidade deve passar por esse ciclo de realimentação.

No estudo de caso apresentado, as simulações foram realizadas com no máximo uma repetição em 7 ciclos de realimentação, exceto para o ciclo fechado que retorna ao início do processo, o qual foi executado apenas uma vez, o que significa que não há previsão de revisão do modelo inteiro na experimentação realizada.

6 AVALIAÇÃO GLOBAL

A Avaliação Global consiste na análise integrada e na elaboração de algumas medidas de apoio à decisão, concebidas para superar eventuais problemas detectados pela aplicação de decisões táticas e estratégicas para reforçar o desempenho do modelo e sua melhoria continua a longo prazo.

A fase de Avaliação Global realiza uma avaliação conjunta ou integrada dos resultados produzidos pelos modelos especializados individuais durante sua execução independente, por meio de uma atividade de avaliação geral única, visando a consolidação dos resultados.

Tradicionalmente, as metodologias PM, BPM e SIM e suas ferramentas de suporte permaneceram conceitualmente muito divergentes e autossuficiente em seus respectivos domínios de conhecimento e de aplicação, mostrando pouca comunicação entre eles, devido a forma individual de gestão de projetos na área de estudo do PM.

Ao usar a abordagem CT²P, pode-se obter grandes ganhos, abordando PM não apenas como uma ferramenta individual para a gestão de um único projeto, mas em conjunto com outros conceitos e metodologias utilizadas em BPM e SIM.

Por exemplo, os conceitos de gerenciamento de projetos, tais como caminhos críticos e tempo de conclusão para um segmento do processo, típico da PM, pode ser aplicado em estudos de simulação para prover uma maior produtividade e uma análise mais aprofundada das possíveis estratégias para a operação do sistema. Inversamente, os conceitos de modelagem de simulação, tais como o tempo ocioso de entidades que ficam em filas em frente de atividades e alocação de recursos dinâmicos, podem ser aplicados para reduzir partes ou os tempos totais de conclusão de processo e custos em aplicações PM no ciclo de vida SE.

O uso integrado dos quatro tipos de técnicas de avaliação de modelo nos estudos CT²P revelam que eles têm uma natureza complementar, por exemplo,

com os procedimentos de modelagem de simulação permitindo para análise das dinâmicas do processo, incluindo otimização da alocação de recursos e permitindo o gerenciamento de projeto para uma melhor avaliação do tempo de conclusão das atividades de ciclos de vida parciais ou completos, assim como sua avaliação de custo.

A combinação dessas quatro técnicas é muito promissora, mas o uso das ferramentas de software reais existentes está sujeito a algumas limitações em relação a sua interoperabilidade, já que elas foram projetadas com diferentes propósitos, e não levam em conta sua natureza complementar.

Depois de executar a atividade de avaliação geral uma vez, várias repetições deste mesmo procedimento podem ser feitas, se necessário, até que um seja assegurado que os requisitos iniciais estabelecidos para o funcionamento satisfatório do modelo de processo de gerenciamento de ciclo de vida do produto (PLM) foi atingido.

7 CONCLUSÕES – BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA E DO AMBIENTE PLM DE APOIO

CT²P apresenta uma forma de alternativa interessante para melhorar a solução de problemas que envolvem processos de negócios complexos, isto é, em vez de fazer uso da base de conhecimento existente para criar novas técnicas e ferramentas, e/ou melhorar as já existentes, ela concentra-se na reestruturação, integração e unificação das bases de conhecimentos já existentes.

O ambiente projetado foi visto pelos alunos que realizaram o estudo de caso como um ativo valioso para uso em aplicações reais, em um cenário em que existem poucos sistemas de software de apoio com baixos custos para este fim. Os sistemas conhecidos pelos os participantes (ambientes PLM Proprietário), o qual poderia ter sido ser usados para executar funções semelhantes, foram consideradas como sendo muito complexo, muito grande ou muito caros. Esses sistemas não foram concebidos para o nível menos exigente de complexidade, tanto em relação aos requisitos técnicos de engenharia e os aspectos gerenciais, envolvidos em desenvolvimento de projetos para pequenos satélites.

Espera-se que a documentação sobre o ambiente PLM de apoio e do estudo de caso a ser realizado com o mesmo, que complementarão a experiência adquirida no estudo de caso da aplicação da metodologia CT²P, realizado pelos alunos do curso de pós-graduação CSE-331 e CSE-331 em engenharia e gestão de sistemas, venha a contribuir para demonstrar as potencialidades da metodologia e do seu ambiente PLM de apoio para fazer um grande salto na quantidade e na qualidade no conhecimento adquirido sobre a condução e na melhoria da gestão de projetos de sistemas espaciais voltados para desenvolvimento de pequenos satélites.

8 REVISÃO HOLÍSTICA E PESQUISAS FUTURAS

CT²P apresenta uma visão holística, consistindo na integração de várias disciplinas que tratam a modelagem de problemas de processos de eventos discretos complexos: Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (SE), Gerenciamento de Projetos (PM), Gestão de Processos de Negócios (BPM) e Modelagem de Simulação de Sistemas (SIM) (Kienbaum et al., 2016).

A visão holística completa sobre os processos defendida pela abordagem CT²P considera PLM como uma parte de BPM, e refere-se a ciclos de vida de organização e produto.

A aplicação da metodologia transdisciplinar CT²P abordada neste minicurso, bem como de suas ferramentas de suporte, para auxiliar o desenvolvimento do projeto de pequenos satélites, pode ter um importante papel no treinamento de recursos humanos envolvido nesses programas, relacionando tanto características técnicas específicas do segmento de pequenos satélites quanto os desafios gerenciais pouco mais simplificados envolvidos na execução desses projetos.

A principal diferença e contribuição original entre o uso do framework CT²P e o uso das disciplinas que o compõem é a criação de um modelo de processos transdisciplinar e seu uso como uma base comum para o desenvolvimento de seus modelos de processos especializados individuais. Isso é feito através da realização de uma modelagem sistemática definido como Modelagem Conceitual ou Modelo de Referência e fazendo uso de uma técnica inovadora de diagramação denominada Diagrama para Modelagem Unificada do Ciclo de Vida (DMUCV).

Por meio do estudo de caso realizado e explicado no minicurso, foi feita uma demonstração da aplicação da metodologia CT²P para a implementação de um ambiente de apoio à Gestão do Ciclo de Vida do Produto (PLM) no desenvolvimento de projetos associados com missões espaciais de pequenos satélites.

A razão para se limitar o escopo da pesquisa e sua aplicação às missões espaciais de pequenos satélites, ao invés de sistemas mais complexos, é que esse segmento é, a curto prazo, o que mais poderia se beneficiar pela adoção da metodologia e ferramentas propostas na abordagem CT²P. Há também que se considerar que a metodologia e suas ferramentas de apoio ainda se encontram em evolução, precisando ser testada num contexto mais simples, antes de ser escalada e aplicada em projetos de maior porte.

A metodologia CT²P, entretanto, pode ser aplicada a qualquer categoria de processos de eventos discretos complexos que possa ser tratada com a notação DMUCV, além de ser escalável e capaz de ser usada em contextos mais amplos, abrangendo todo o ciclo de vida do produto, ou até mesmo a gestão de processos de negócios da organização como um todo.

A partir do estudo de caso da metodologia CT²P apresentado, demonstrou-se sua aplicação de maneira formal, gradual e sistemática, evidenciando a capacidade da mesma ser utilizada em um cenário real, para apoiar a evolução do projeto de pequenos satélites. O desenvolvimento contínuo e aplicação da metodologia exigirá a continuação das pesquisas e a escolha de diferentes ferramentas já existentes para realizar vários estudos de caso, e / ou a criação de um novo ambiente híbrido, que por sua vez irá requerer um conjunto de aplicações de software e o tempo para o desenvolvimento.

A longo prazo, seus benefícios só serão alcançados se compreender a concepção e a construção de um ambiente híbrido para lidar simultaneamente, e de forma interoperável, com todas as questões envolvidas nas áreas de estudo individual. O framework CT²P foi revisto, no entanto, esta revisão levará a novas medidas no sentido da melhoria contínua de seu método de aplicação e ambiente de suporte para aplicação em estudos de caso adicionais no futuro. As bases e diretrizes para essa melhoria contínua foram apresentadas neste trabalho e eles serão perseguidos e ampliado em pesquisas futuras.

8.1. Agradecimentos

O autor reconhece e agradece a colaboração dos estudantes de mestrado e doutorado participantes dos cursos CSE-326 e CSE-331 durante o segundo e terceiro períodos letivos do ano de 2015 do Programa Pós-Graduação ETE/INPE. Trabalhando em equipe, eles desenvolveram, na forma de projetos finais de classe, os modelos de processos de engenharia e gerenciamento de sistemas do ciclo de vida do produto voltado para o projeto de pequenos satélites apresentados neste minicurso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Productivity and Quality Center(APQC). Process classification framework(PFC). [Online]. Available from: <https://www.apqc.org/pcf>. Accessed on 10.15.2015.

Bkcase Editorial Board. The guide to the systems engineering body of knowledge (SEBoK), v. 1.4. R. D. Adcock (EIC). Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology, June 2015. [Online]. Available from: <http://www.bkcase.org/sebok/>. Accessed on 10.15.2015.

BIZAGI. BPM suite overview. [Online]. Available from: <http://www.bizagi.com/en/bpm-suite>. Accessed on 10.15.2015.

Caci Inc. Federal. SIMPROCESS - Product overview and user's manual. Release 5.2. [Online]. Available from: <http://simprocess.com/about-SIMPROCESS/SIMPROCESS-documentation/> Accessed on 10.15.2015.

C. Sharma, Operation Research: Pert, Cpm & Cost Analysis, 2th ed. Discovery Publishing House, New Delhi, 2006.[Online]. Available from : https://books.google.com.br/books?id=ODApOTanj4IC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false Accessed on 12.17.2015.

ECSS (European Cooperation for Space Standardization). Space project management. Project planning and implementation. ECSS-M-ST-10C_Rev. Third issue. 2008

ECSS (European Cooperation for Space Standardization). Space engineering. Systems engineering general requirements. ECSS-E-ST-10C. Third issue. 2009

E. Kelson, R. Fernandez, M. Coicev, E. Gartenkraut, M. Rodrigues, G. S. Kienbaum, A. Augusto Neto. "An Environment to Support PLM in Small Satellites Project Development". In: 2nd IAA Latin American CubeSat Workshop. IAA 2016, 2016. Florianopolis, Brazil. Submitted.

Federal Information Processing Standards Publications (FIPS PUBS). Integration Definition for Function Modelling (IDEF0). [Online]. Available from: <http://www.idef.com/pdf/idef0.pdf>. Accessed on 10.10.2015.

G. S. Kienbaum, A framework for process science and technology and its application to systems concurrent engineering. São José dos Campos: INPE, Technical Report. [Online]. Available from: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KG6NB5> Accessed on 10.29.2015.

G. S. Kienbaum, "A framework for process science and technology applied to concurrent engineering", In: ISPE Internacional Conference on Concurrent Engineering, 19., 2012, Trier, Germany. Proceedings... London: Springer-

Verlag, 2012. v. 2, p. 1033-1044. ISBN 9781447144250. [Online]. Available from: <<http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2012/11.28.14.40.58/doc/CE2012.pdf>>. Accessed on 02.22.2016.

INPE. Nanossatélite AESP14: Plano de Gerenciamento de Projeto. LIT21-AESP14-ES-007, 2014. Online. Available from: http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2014/05/016-021_CAPA_nanosatelite_219-NOVO1.pdf?202ea3ULMD Notation. Online. Available from: <<http://www.uml.org/>>. Accessed on 02.22.2016.

L. A. Silva, G.S. Kienbaum, G. Loureiro and M. M. Tanik, "A design and process science study applied to the Laboratory for Integration and Testing of the National Space Research Institute (LIT/INPE)," In: SDPS 2011. 2011, Jeju Island South Korea. Proceedings... [Online]. Available from: <<http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/06.11.14.52/doc/SDPS2011.pdf>>. Accessed on 02.22.2016.

MBSE – Model-Based System Engineering. Online. Available from: <<http://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php>>. Accessed on 02.22.2016.

M. Pidd, Computer simulation in management science, 3rd Edition. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1992.

Microsoft Project - Software [Online]. Available for download from: <https://products.office.com/pt-br/project/project-and-portfolio-management-software/2013.10.10>. Accessed on 02.22.2016.

M. Rosemann, T. de Bruin, B. Power: BPM Maturity. In: Jeston, J., Nelis, J. (eds.) Business Process Management: Practical Guidelines for Successful Implementations, Elsevier, Oxford (2006)

NASA. Systems engineering handbook. 2007. [Online]. Available from: <<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080008301.pdf>>. Accessed on 02.22.2016.

OMG - Object Management Group. Business process modelling notation – V. 2.0. OMG Document Number: formal/2011-01-03. [Online]. Available from: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>. Accessed on 2015.10.10.

ProjectLibre User Guide - Version 0.3.3. [Online]. Available from: <<http://www.projectlibre.org/>> Accessed on 10.23.2015.

PMI - Project Management Institute. A guide to the project management body of knowledge, 5th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2013.

R. Fernandez, G. S. Kienbaum, E. Kelson, A. Augusto Neto. Using Simulation Modeling to Create Transdisciplinary Process Models and to Build Basic PLM

Tools to Support the Systems Engineering Lifecycle. In: Proceedings of SIMUL 2015, Barcelona, Spain. 2015

R. Fernandez, G. S. Kienbaum, E. Kelson, A. Augusto Neto. "T-PROST: A Transdisciplinary Process Modelling Methodology and its Application to the Systems Engineering Lifecycle in Space Missions". In: 2nd IAA Latin American CubeSat Workshop. IAA 2016, 2016. Florianopolis, Brazil. Submitted.

SMARTDRAW Software. Online. Available for download from: <http://www.smartdraw.com/downloads/> . Accessed on 02.22.2016.

W. Van der Aalst, M. Weske and G. Wirtz, "Advanced Topics in Workflow Management: Issues, Requirements and Solutions", In: Transactions of the SDPS, Vol. 7, No. 1, 2003, pp. 49-77

Woellert, K., Ehrenfreund, P., Ricco, A.J. and Hetzfeld, H., 2011, "Cubesats: Cost-Effective Science and Technology Platforms for Emerging and Developing Nations", Advances in Space Research, Vol. 47, No. 4, pp. 663-684. doi:10.1016/j.asr.2010.10.009