MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.19.01.41-TDI

ENGESIS-PLM: UM AMBIENTE TRANSDISCIPLINAR ORIENTADO A PROCESSOS PARA APOIO À FASE DE DESIGN DA ENGENHARIA DE SISTEMAS EM MISSÕES ESPACIAIS

Elaino Kelson Teixeira Silva

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Germano de Souza Kienbaum, e Álvaro Augusto Neto, aprovada em 02 de dezembro de 2016.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MR2HSE>

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Gabinete do Diretor (GB)
Serviço de Informação e Documentação (SID)
Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/6921
Fax: (012) 3208-6919
E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):
Presidente:
Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Membros:
Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)
Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)
Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)
Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)
Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)
Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)
BIBLIOTECA DIGITAL:
Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)
REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)
Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)
EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:
Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)
André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.19.01.41-TDI

ENGESIS-PLM: UM AMBIENTE TRANSDISCIPLINAR ORIENTADO A PROCESSOS PARA APOIO À FASE DE DESIGN DA ENGENHARIA DE SISTEMAS EM MISSÕES ESPACIAIS

Elaino Kelson Teixeira Silva

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Germano de Souza Kienbaum, e Álvaro Augusto Neto, aprovada em 02 de dezembro de 2016.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MR2HSE>

INPE
São José dos Campos
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Elaino Kelson Teixeira.

Si38e ENGESIS-PLM: um ambiente transdisciplinar orientado a processos para apoio à fase de design da engenharia de sistemas em missões espaciais / Elaino Kelson Teixeira Silva. – São José dos Campos : INPE, 2017.

xxii + 138 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.19.01.41-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientadores : Drs. Germano de Souza Kienbaum, e Álvaro Augusto Neto.

1. PLM. 2. Gerenciamento de projetos. 3. Gestão de processos de negócios. 4. Modelagem e simulação. 5. ENGESIS-PLM. I.Título.

CDU 658.511.4:629-78

Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Aluno (a): *Elaino Kelson Teixeira Silva*

Título: "ENGESIS-PLM: UM AMBIENTE TRANSDISCIPLINAR ORIENTADO A PROCESSOS PARA APOIO À FASE DE DESIGN DA ENGENHARIA DE SISTEMAS EM MISSÕES ESPACIAIS".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de *Mestre* em

Engenharia e Tecnologia Espaciais/Eng. Gerenc. de Sistemas Espaciais

Dr. Maurício Gonçalves Vieira Ferreira

Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Germano de Souza Kienbaum

Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Álvaro Augusto Neto

Orientador(a) / ITA / São José dos Campos - SP

Dr. Nilson Sant'Anna

Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Marcio Mattos Borges de Oliveira

Convidado(a) / USP / Ribeirão P / Ribeirão Preto - SP

Dr. Oscar Ivan Palma Pacheco

Convidado(a) / UNASP / Campinas - SP

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

(X) unanimidade

São José dos Campos, 02 de Dezembro de 2016

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes.”

Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela minha vida.

Ao Prof. Dr. Germano de Souza Kienbaum, pelo compartilhamento dos seus conhecimentos, com muita humildade, paciência e comprometimento, que foram fundamentais na orientação deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Álvaro Augusto Neto, pela coorientação e por todo o apoio e contribuições neste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pela predisposição em analisar este trabalho.

Agradeço aos estudantes de mestrado e doutorado participantes dos cursos CSE-326 e CSE-331, durante o segundo e terceiro períodos letivos do ano de 2015 e do curso CSE-211, durante o primeiro período letivo de 2016 do Programa Pós-Graduação ETE/INPE, pela colaboração, apoio e contribuições recebidas.

À minha querida família, pelo apoio durante todos os momentos, mesmo nos mais difíceis desta jornada.

A todos os amigos e colegas que direta ou indiretamente apoiaram este trabalho.

À JetSoft por todo o apoio e incentivo.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a concepção e implementação de um ambiente computacional de apoio à execução e gestão dos processos do ciclo de vida da engenharia concorrente de sistemas, em especial, visando ao seu uso em projetos denominados de pequenos e médios empreendimentos transdisciplinares. A abordagem transdisciplinar orientada a processos utilizada para a criação e evolução dos modelos de processos, bem como para a concepção da arquitetura do ambiente de apoio, é baseada em uma metodologia denominada Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos. A abordagem consiste na criação e implementação de diversos modelos especializados dos processos de engenharia concorrente de sistemas, baseados nas técnicas de Engenharia de Sistemas Baseado em Modelos, Gerenciamento de Projetos, Gestão de Processos de Negócios e Simulação de Sistemas. O ambiente consiste na integração de diversos aplicativos, dispostos para trabalharem de forma interoperável e apoiarem a modelagem, a implementação, a execução, a análise e a gestão dos processos do ciclo de vida do produto. A demonstração das potencialidades da metodologia e do seu ambiente de apoio é feita por meio de um projeto-piloto, descrevendo sua aplicação aos processos da fase de *design* no desenvolvimento de projetos de pequenos satélites em missões espaciais.

Palavras-chave: PLM. Gerenciamento de Projetos. Gestão de Processos de Negócios. Modelagem e Simulação. ENGESIS-PLM.

ENGESIS-PLM: A TRANSDISCIPLINARY PROCESS ORIENTED ENVIRONMENT TO SUPPORT THE DESIGN PHASE OF SYSTEMS ENGINEERING IN SPACE MISSIONS

ABSTRACT

The objective of this work is the design and implementation of a computacional environment to support the design phase of systems concurrent engineering, aiming specially at its application in transdisciplinary small and medium enterprises. The transdisciplinary process oriented modeling approach used for model creation and evolution, as well as for the conception of the architecture of the supporting environment, are based on a methodology denominated Transdisciplinary Process Science and Technology. The approach consists in the creation and implementation of specialized models of the integrated systems engineering and management processes, based on the techniques of Model Based Systems Engineering, Project Management, Business Process Management, and Systems Simulation. The environment consists in a set of integrated tools, put to work together in an interoperable way to support modeling, execution, analysis, and management of the product development life cycle processes. The demonstration of the potentialities of the methodology and its supporting environment is done by means of a pilot project, describing their application to the design phase processes in small satellites project development in space missions.

Keywords: PLM. Project Management. Business Process Management. Simulation Modelling. ENGESIS-PLM.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 2.1 – A visão descritiva da arquitetura do conhecimento em CT^2P..... 11
Figura 2.2 – A visão de processos da arquitetura do conhecimento em CT^2P. 13
Figura 2.3 – A visão de processos da arquitetura do conhecimento em CT2P 16
Figura 3.1 – Macroprocessos da Fase de *Design* do Ciclo de Vida do Produto. 30
Figura 4.1 – Fases do ciclo de vida de produto..... 32
Figura 4.2 – Distinção entre PLM como abordagem e Sistema de informação.35
Figura 4.3 – Módulos e grupos de funcionalidades de PLM..... 40
Figura 4.4 – Elementos da definição de PLM..... 41
Figura 4.5 – *Framework* X-SME. 44
Figura 5.1 – *Framework* CT^2P. 53
Figura 5.2 – Arquitetura de um ambiente CT^2P-PLM 55
Figura 5.3 – Arquitetura do ambiente ENGESIS-PLM..... 59
Figura 5.4 – Concepção do ambiente ENGESIS-PLM. 61
Figura 5.5 – Diagrama de casos de uso Jet-Conversor. 66
Figura 5.6 – Diagrama de casos de uso módulo adicional dotProject..... 66
Figura 5.7 – Arquitetura de Solução do aplicativo Jet-Conversor..... 73
Figura 5.8 – Aplicativo Jet-Conversor. 74
Figura 5.9 – Módulo Importação/Exportação de XML adicionado ao sistema dotProject. 75
Figura 5.10 –Sistema BPMS BIZAgi Suite. 77
Figura 6.1 – GUI Simprocess – Editor gráfico para construção do modelo de referência (modelos RTPs)..... 82
Figura 6.2 – GUI SimProcess – Detalhes da utilização de recursos. 85
Figura 6.3 – GUI SimProcess – Exportação de modelos RTP no formato XPDL. 87
Figura 6.4 – Uso do ProjectLibre para modelagem dos Processos Definição de Conceitos. 93
Figura 6.5 – Fase de *design* ES – Modelo BPMN Definição de Conceitos importado pelo Bizagi Modeler a partir do arquivo produzido pelo Jet-Conversor..... 95
Figura 6.6 – Fase de *design* ES – Modelo final BPMN da Definição de Conceitos após complementação pelo usuário..... 96
Figura 6.7 – Protótipo de Macroprocessos - Definição de Conceitos..... 98
Figura B.1 – Download do Sistema VirtualBox..... 122
Figura B.2 – Configuração da Máquina Virtual vmEngeSIs. 123
Figura B.3 – Estrutura de Arquivos da Máquina virtual vmEngeSIs..... 124
Figura B.4 – Carregando a Máquina Virtual vmEngeSIs..... 124
Figura B.5 – Iniciando a Máquina Virtual vmEngeSis..... 125
Figura B.6 – Iniciando os Servidores Apache e MySQL no Xampp. 126
Figura B.7 – Estrutura da Pasta ENGESIS para uso do Ambiente. 127

Figura B.8 – Interface do Jet-Conversor. 128
Figura B.9 – Interface do ProjectLibre – Abrir Arquivo XML. 129
Figura B.10 – Interface do ProjectLibre – Salvar Arquivo XML. 130
Figura B.11 – Interface do dotProject – Criar Projeto. 131
Figura B.12 – Interface do dotProject – Selecionar Projeto. 131
Figura B.13 – Interface Adicional do dotProject – Importar/ Exportar XML. ... 132
Figura B.14 – Ambiente para Gestão de Processos. 133
Figura B.15 – Interface do BizAgi Modeler – Bricolagem. 134
Figura B.16 – Interface do BizAgi Suite – Desenvolver e Executar o Modelo. 135
Figura B.17 – Interface do BizAgi Suite – Executando o Modelo / Login. 136
Figura B.18 – Interface do BizAgi Suite – Executando o Modelo / Painel. 137
Figura B.19 – Interface do BizAgi Suite – Executando o Modelo / Formulário. 138

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 4.1 – Visões do ciclo de vida de produtos. 32
Tabela 4.2 – Aplicações PLM genéricas. 39
Tabela 4.3 – Aplicações PLM específicas. 39
Tabela 4.4 – Um paralelo entre os eixos X-SME e visão do ENGESIS. 45
Tabela 5.1 – Fluxo de eventos CDU1. 67
Tabela 5.2 – Fluxo de eventos CDU2. 68
Tabela 5.3 – Fluxo de eventos CDU3. 69
Tabela 5.4 – Fluxo de eventos CDU4. 70
Tabela 5.5 – Fluxo de eventos CDU5. 71
Tabela 6.1 – Classificação de satélites. 80
Tabela 6.2 – Classificação de satélites de acordo com a massa. 81
Tabela 6.3 – Dados usados para modelo especializado para o microssatélite BRAZUCA-4 86
Tabela 7.1 – Caracterização de Satélites. 99
Tabela 7.2 – Experimentação para o satélite BRAZUCA-1 (Picossatélite). ... 101
Tabela 8.1 – Síntese Comparativa entre os ambientes ENGESIS-PLM e o X-SME. 107
Tabela A.1 – *Survey* de artigos acadêmicos para construção de cenários do projeto- piloto..... 120

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APQC	American Productivity and Quality Center
AV	Análise de Viabilidade
BPD	Business Process Diagrams
BPM	Business Process Management
BPMM	Business Process Maturity Model
BPMN	Business Process Management Notation
BPMS	Business Process Management System
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CIM	Computer Intergrated Manufacturing
COTS	Commercial Off-The-Shelf
CSE	Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais
CT^2P	Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos
CVP	Ciclo de Vida do Produto
CVS	Ciclo de Vida do Sistema
DMCU	Diagramas para Modelagem Conceitual Unificada
DMUCV	Diagramas para Modelagem Unificada do Ciclo de Vida
DMUS	Diagrama para Modelagem Unificada em Simulação
EC	Engenharia Concorrente
ECSS	European Cooperation for Space Standardization
EDM	Engineering Data Management
ERP	Enterprise Resource Planning
ETE	Engenharia e Tecnologia Espaciais
GP	Gerenciamento de Projetos
GPN	Gestão de Processos de Negócios
GUI	Graphical User Interface
IDEF0	Integrated Computer Aided Manufacturing Definition for Function Modelling
INCOSE	International Council on Systems Engineering

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IT	Information Technology
MBSE	Model Based Systems Engineering
MR	Modelo de Referência
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OMG	Object Management Group
PDM	Product Data Management
PERT/CPM	Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method
PL	Planejamento
PLM	Product Lifecycle Management
PM	Project Management
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PME	Pequenas e Médias Empresas
SCM	Supply Chain Management
SE	Systems Engineering
SEBoK	Systems Engineering Body of Knowledge
SIM	Modelagem e Simulação de Sistemas, Simulation Modelling
XML	eXtensible Markup Language
XPDL	XML Process Definition Language
WfMC	Workflow Management Coalition

SUMÁRIO

Pág.

1 INTRODUÇÃO 1

1.1. Objetivo 3

1.2. Metodologia Utilizada 4

1.3. Estrutura do Trabalho 4

2 A CIÊNCIA E TECNOLOGIA TRANSDISCIPLINARES DE PROCESSOS 7

2.1. Definições da CT^2P 7

2.2. Arquitetura do Conhecimento 10

2.2.1. Visão Descritiva 11

2.2.2. Visão do Processo 12

2.3. Método de Implementação 15

2.4. Ambiente de Apoio 20

2.5. Síntese dos Benefícios e Desvantagens da CT^2P 21

3 A FASE DE *DESIGN* DO CICLO DE VIDA DA ENGENHARIA DE SISTEMAS 25

3.1. Modelo Original SEBoK 25

3.1.1. Definição de Conceitos 25

3.1.2. Definição de Sistemas 26

3.2. Ajustes Gerais do Modelo SEBoK 26

3.3. Adequação às Normas da Engenharia de Sistemas Espaciais 27

3.3.1. Análise de Missão 27

3.3.2. Análise de Viabilidade 28

3.4. Adequação à Gerência de Projetos 28

3.5. Modelo de Referência para a Fase de *Design* 29

4 ESCOPO DA PESQUISA 31

4.1. Fundamentos de PLM 31

4.1.1. Produto 31

4.1.2. Ciclo de Vida 31

4.2. Definições de PLM 33

4.3. A Evolução Histórica do Conceito PLM 35

4.4. PLM Como Ferramenta de Apoio 38

4.5. PLM no Contexto de PMET-Org 41

4.6. Implementação de PLMs em PMET-Orgs 46

4.7. Um Estudo de Caso do Uso de PLM em PMET-Orgs 48

4.8. Conclusões sobre soluções PLM para PMET-Orgs 51

5 O PROJETO DO AMBIENTE ENGESIS-PLM DE APOIO 53

5.1. Arquitetura do *Framework* CT^2P 53

5.2. Arquitetura de um PLM Genérico para CT^2P 54

5.3. Arquitetura do Ambiente ENGESIS-PLM 58

5.4. Concepção do Ambiente ENGESIS-PLM 61

5.4.1. Requisitos do Ambiente ENGESIS-PLM 62

Requisitos Funcionais 64

Visão de Casos de Uso 65

5.5. Desenvolvimento do Ambiente ENGESIS-PLM 71

5.5.1. O Aplicativo Jet-Conversor 72

5.5.2. Sistema para Gerenciamento de Projetos dotProject 74

5.5.3. Sistema para Gestão de Processos BizAgi Suite 76

6 APLICAÇÃO DO ENGESIS-PLM A PEQUENOS SATÉLITES 79

6.1. Introdução 79
6.2. Classe de Satélites 80
6.3. Modelagem Conceitual 81
6.4. Parametrização dos Modelos 82
6.4.1. Atribuição de Tempo, Recursos e Custos 83
6.4.2. Elaboração de Cenários 85
6.5. Uso do Jet-Conversor – Transformações do Modelo de Referência 86
6.6. Desenvolvimento dos Modelos Especializados 88
6.6.1. Desenvolvimento do Modelo de Engenharia de Sistemas 90
6.6.2. Desenvolvimento do Modelo de Gerência de Projetos 91
6.6.3. Desenvolvimento do Modelo de Gestão de Processos 93
6.6.4. Desenvolvimento do Modelo de Simulação de Sistemas 97
7 EXPERIMENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS 99
7.1. *Design* de Experimentos 99
8 AVALIAÇÃO GLOBAL 103
8.1. Avaliação da Aplicação do *Framework* ENGESIS 103
8.2. Avaliação do Ambiente de Apoio ENGESIS-PLM 104
8.3. Síntese Comparativa entre o ENGESIS-PLM e PLM X-SME 106
9 CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS 109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 114
APÊNDICE A – SURVEY DE ARTIGOS ACADÊMICOS 120
APÊNDICE B – GUIA PARA APLICAÇÃO DO ENGESIS-PLM 122

1 INTRODUÇÃO

A Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos (CT^2P) designa uma visão holística de processos, que consiste na integração de várias disciplinas que lidam com modelos de processos, visando melhorar a modelagem e prover soluções integradas de engenharia e de gestão para problemas envolvendo sistemas complexos a eventos discretos em geral (KIENBAUM, 2015).

Processos discretos são aqueles que apresentam mudanças de estado (eventos) que ocorrem de forma pontual no tempo. Os estados de um sistema são representados pelos valores assumidos por suas variáveis de controle ao longo de sua evolução temporal (KIENBAUM, 2014).

As disciplinas envolvidas na CT^2P são a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (ESBM), a Gerência de Projetos (GP), a Gestão por Processos de Negócios (GPN) e a Modelagem e Simulação de Sistemas (SIM), utilizadas simultaneamente para a modelagem e análise dos processos de uma organização, sejam estes referentes ao seu ciclo de vida completo ou apenas a uma parte de suas operações, como por exemplo, os processos de engenharia e gestão do ciclo de vida do seu produto, ou somente aqueles diretamente relacionados com a execução de um determinado projeto.

Em Fernandez (2016), o *Framework* geral CT^2P foi utilizado como base para a criação e desenvolvimento de um *framework* de referência – denominado *Framework* ENGESIS – para utilização na fase de *design* da Engenharia Concorrente de sistemas (EC).

Ainda de acordo com Fernandez (2016), o *Framework* ENGESIS é composto por três elementos básicos, quais sejam: uma estrutura do conhecimento - formada pelos modelos hierárquicos especializados criados a partir de um modelo de referência; um método de implementação - usado para a evolução desses modelos especializados ao longo do ciclo de vida da engenharia do sistema; e um ambiente de apoio - um conjunto de ferramentas, usado para apoio à implementação dos referidos modelos, na forma de aplicativos

autônomos, mas que são colocados para atuar de forma integrada e interoperável.

Na presente pesquisa, será desenvolvido um ambiente de apoio ao *Framework* ENGESIS, dando continuidade ao trabalho de Fernandez (2016), visando à sua aplicação num contexto de pequenas ou médias empresas transdisciplinares orientadas a processos (PMET-Orgs), que são organizações que realizam projetos de engenharia concorrente de sistemas de baixo custo e nível médio de complexidade, no desenvolvimento de produtos, serviços e processos envolvendo tecnologias avançadas, submetidos a severas restrições relacionadas com equipes pequenas, curtos ciclos de vida de projeto e rigorosas limitações orçamentárias.

Os projetos típicos realizados pelas PMET-Orgs são, por sua vez, chamados de pequenos ou médios empreendimentos transdisciplinares (PMET-Projs), e são, ainda, caracterizados pela utilização de processos e técnicas de engenharia de sistemas e de metodologias e ferramentas de gestão mais simplificados para a execução e gestão dos processos de seu ciclo de vida.

As PMET-Orgs não são caracterizadas por seu tamanho ou área de atuação, apenas pelo tipo do projeto que realizam, de acordo com as definições supracitadas. Empresas terceirizadas que estejam desenvolvendo uma parte de um produto, ou empresas de grande porte que tenham um departamento dirigido para a realização de projetos de sistemas, componentes ou partes, bem como universidades de pesquisa e também empresas de pequeno e médio porte engajadas em projetos da natureza mencionada, estão também atuando como PMET-Orgs, de acordo com as definições atribuídas a estes termos no presente trabalho.

O ambiente PLM especializado de apoio ao *Framework* ENGESIS apresentado neste trabalho se caracteriza por seu baixo custo e aplicabilidade geral, buscando auxiliar o segmento de organizações denominadas PMET-Orgs na execução de seus projetos denominados de empreendimentos de PMET-Projs.

Atualmente, existe uma grande variedade de sistemas do tipo *Product Lifecycle Management* (PLM) disponíveis para escolha no mercado. A maioria desses sistemas, no entanto, são complexos, com alto custo, difíceis de personalizar e de integrar a outras ferramentas, e, portanto, torna-se difícil encontrar no mercado soluções de PLM amigáveis e acessíveis que possam ser personalizados, integrados e usados para apoiar uma PMET-Org. Isto implica a possibilidade de que os desenvolvimentos de projetos desta natureza possam ser conduzidos de forma amadora, levando ao fracasso do projeto em relação à duração, custo e/ou má qualidade dos produtos que estão sendo construídos.

O ambiente de apoio ENGESIS-PLM aqui descrito procura atender às necessidades de modelagem, análise, execução, monitoramento e melhoria contínua dos processos relacionados com o desenvolvimento e a gestão do ciclo de vida dos produtos em organizações PMET-Org, como alternativa a sistemas PLM e BPM complexos, sofisticados, caros e difíceis de customizar, tal como são aqueles normalmente disponíveis no mercado.

1.1. Objetivo

O objetivo principal do presente trabalho é o projeto e desenvolvimento de um ambiente computacional PLM especializado de apoio ao *Framework* ENGESIS, denominado ENGESIS-PLM, a fim de auxiliar na modelagem, execução e gestão dos processos de engenharia concorrente do ciclo de vida de sistemas (produtos e serviços) em geral.

Um segundo objetivo primordial desse trabalho é proporcionar a integração e a interoperabilidade de aplicativos diversos do tipo Commercial-Off-The-Shelf (COTS), provenientes das áreas de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos, Gerenciamento de Projetos, Gestão de Processos de Negócios e Simulação de Sistemas, por meio de um módulo conversor de padrões, de forma a permitir a aplicação conjunta das metodologias e técnicas das disciplinas componentes do *Framework* CT^2P utilizadas como base do *Framework* ENGESIS e do seu ambiente de apoio.

Um objetivo complementar desse trabalho é apresentar uma demonstração e avaliação das potencialidades desse ambiente por meio de um projeto-piloto, realizado com a participação dos alunos de Pós-Graduação em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, visando à sua aplicação na área de engenharia de sistemas espaciais, em especial, dirigido ao segmento de pequenos satélites.

O ambiente especializado criado para apoio ao *Framework* ENGESIS busca proporcionar a elevação da taxa de sucesso dos projetos do tipo PMET-Projs, realizados por organizações denominadas PMET-Orgs, conforme definições dadas no trabalho.

1.2. Metodologia Utilizada

O método de implementação do *Framework* CT^2P, conforme descrito no capítulo 2, foi utilizado como pilar para definição e desenvolvimento evolutivo do trabalho.

1.3. Estrutura do Trabalho

O restante desse trabalho está estruturado da seguinte forma:

O Capítulo 2 – Ciência e Tecnologia Transdiciplinares de Processos - define conceitos fundamentais da metodologia CT^2P, com o seu respectivo método de implementação.

O Capítulo 3 – A Fase de *Design* do Ciclo de Vida da Engenharia de Sistemas – descreve o modelo de processos para engenharia de sistemas do SEBoK (2016), adotado pelo *Framework* ENGESIS e pelo ENGESIS-PLM apesentados neste trabalho.

O Capítulo 4 – Escopo da Pesquisa – aborda aspectos de trabalhos correlatos existentes na literatura sobre PLM genéricos desenvolvidos em ambientes acadêmicos, para uso em projetos de engenharia de sistemas por empresas de pequeno e médio porte (PME), destacando as semelhanças e diferenças entre

os PLMs tradicionais com sistemas especialmente desenvolvidos para esse tipo de empresa e com o ENGESIS-PLM descrito no trabalho.

O Capítulo 5 – Projeto do Ambiente ENGESIS-PLM de Apoio – cobre aspectos da concepção e desenvolvimento do ambiente, tais como os aplicativos básicos nele integrados, provenientes das diversas disciplinas utilizadas, o módulo conversor de padrões denominado Jet-Conversor, bem como os módulos ou extensões acrescentados a estas ferramentas componentes do ambiente, como no caso do dotProject.

O Capítulo 6 – Aplicação do ENGESIS-PLM a Pequenos Satélites – descreve o projeto-piloto realizado pelos alunos dos cursos CSE-326 e CSE-331 para aplicação da metodologia no contexto da realização de projetos de pequenos satélites. Esse capítulo descreve a utilização dos sistemas COTS para a criação dos modelos especializados, o projeto de experimentos, a execução e a análise dos modelos individuais, bem como a análise integrada dos resultados; equivale à apresentação de suas fases de desenvolvimento de modelos, execução e análise individual, bem como avaliação integrada de resultados, cobrindo todas as funcionalidades para aplicação e análise disponibilizadas pelo ambiente de apoio ENGESIS-PLM descrito.

O Capítulo 7 – Experimentação e Análise de Resultados – realiza uma avaliação global das metodologias e técnicas aplicadas, isto é, a avaliação dos benefícios e limitações da metodologia e de seu ambiente ENGESIS-PLM de apoio 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 8 – Avaliação Global - faz uma avaliação da aplicação da metodologia ENGESIS *Framework* como um todo e do seu ambiente de apoio ENGESIS-PLM, bem como uma síntese comparativa das principais características do ambiente genérico PLM X-SME com o ambiente proposto no trabalho, ambos desenvolvidos em um contexto acadêmico e de soluções customizadas para atendimento ao segmento de empresas PME.

Finalmente, o Capítulo 9 - Conclusões e Pesquisas Futuras – apresenta um sumário das principais contribuições da presente pesquisa, bem como da experiência ganha (as “lições aprendidas”) com o desenvolvimento do ambiente de apoio ENGESIS-PLM. Ademais, aponta para alguns esforços futuros de pesquisa, previstos para serem conduzidos visando à continuidade e maturação da abordagem CT^2P e à criação de novos ambientes de apoio à metodologia.

2 A CIÊNCIA E TECNOLOGIA TRANSDISCIPLINARES DE PROCESSOS

Este capítulo descreve, de forma resumida, a abordagem Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos (CT^2P), com o seu respectivo método de implementação, que são os principais fundamentos conceituais sobre os quais se baseia o ambiente de apoio ENGESIS-PLM, objeto principal desta pesquisa. A síntese sobre CT^2P aqui apresentada está baseada principalmente nas referências em Kienbaum (2015) e Fernandez (2016), conforme indicadas ao longo do texto.

2.1. Definições da CT^2P

O nome *Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos* (CT^2P) designa uma visão holística transdisciplinar e inovadora sobre processos a eventos discretos, que integra e unifica conceitos, métodos e ferramentas utilizados em diversas disciplinas autônomas que lidam com a solução de problemas envolvendo sistemas discretos em geral (KIENBAUM, 2014).

Um conceito importante na definição acima diz respeito a *processos discretos*, que são aqueles que apresentam mudanças de estado de forma instantânea no tempo. Os estados de um sistema são representados pelas diversas variáveis de controle, e os valores assumidos por elas mudam pontualmente no tempo ao longo de sua observação (KIENBAUM, 2014).

Entre os modelos criados, encontram-se modelos de referência dos processos do ciclo de vida da engenharia concorrente de sistemas, isto é, das fases de modelagem, implementação, execução, automação, monitoramento, gestão e melhoria contínua do desenvolvimento de produtos e serviços, e da gestão da produção pela organização em geral.

A CT^2P procura integrar e unificar a base de conhecimento de diversas áreas de pesquisa e disciplinas, criando uma abordagem sistemática para a modelagem dos processos componentes do ciclo de vida da engenharia de sistemas e da gestão da produção pela organização. Os conceitos e técnicas são aqueles originados de diversas áreas de pesquisa que lidam com estudos

autônomos sobre processos, tais como: Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (ESBM), Gerenciamento de Projetos (GP), Gestão por Processos de Negócios (GPN) e Modelagem e Simulação de Sistemas (SIM).

As definições das denominações das disciplinas utilizadas na CT^2P foram apresentadas em Fernandez (2016) e se encontram reproduzidas a seguir, de acordo com suas originais fontes de referência:

> A Engenharia de Sistemas (ES) é uma abordagem multidisciplinar colaborativa de engenharia para conceber, desenvolver e verificar uma solução balanceada ao longo do ciclo de vida e que atenda às expectativas dos '*stakeholders*'" (LOUREIRO, 2010).
> Engenharia Concorrente (EC) é uma abordagem sistemática para o projeto simultâneo e integrado de produtos e de seus processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. A EC destina-se a fazer com que os desenvolvedores, desde o início, considerem todos os elementos do ciclo de vida do produto, desde a concepção até o descarte, incluindo qualidade, custo, cronograma e as necessidades dos usuários (WINNER et al., 1998).
> A EC ou Engenharia Simultânea é uma abordagem de engenharia que objetiva definir, já na fase de *design* de um produto (concepção e definição de sistemas), todos os seus requisitos, tanto aqueles próprios dessa fase (requisitos do produto) quanto os relativos às fases subsequentes de seu ciclo de vida, relacionados com seus processos de produção, tais como manufatura, montagem e testes, operação e manutenção, englobando até mesmo a logística e o descarte do produto.
> A ESBM é a aplicação formal da modelagem para apoiar os requisitos de sistema, projeto, análise, atividades de verificação e validação, começando na fase de *design* e continuando durante o desenvolvimento e demais fases do ciclo de vida (INCOSE, 2015).
> GP é a aplicação do conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos (PMBOK, 2015).
> GPN é uma abordagem estruturada e sistemática para a realização de modelagem, análise, execução e controle, gestão e melhoria contínua dos processos utilizados na ES (OMG, 2011).
> SIM é o processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo tendo como propósito a compreensão do comportamento do sistema ou a avaliação de diversas estratégias (dentro dos limites impostos por um critério ou conjunto de critérios) para a operação do sistema (SHANNON, 1975).

A estrutura do conhecimento sobre processos e a metodologia de modelagem em multicamadas utilizada na CT^2P contempla a decomposição do modelo geral de processos em níveis hierárquicos e associa cada disciplina a uma camada, começando com a de ESBM na camada mais interna, passando pelas visões de GP e GPN, nas camadas intermediárias, chegando finalmente à visão de SIM, na camada mais externa (KIENBAUM, 2014).

O uso da denominação “Processo” no presente trabalho tem um significado abstrato e genérico, que precisa ser entendido de acordo com o contexto em que é empregado. Para isto, segue-se a mesma terminologia adotada em Fernandez (2016), que expressa os diferentes significados do termo “Processo” de acordo com seu grau de complexidade e capacidade de subdivisão em componentes mais simples:

CICLO DE VIDA ≥ FASES ≥ ETAPAS ≥ MACROPROCESSOS ≥ PROCESSOS ≥ ATIVIDADES ≥ TAREFAS

Adicionalmente, o símbolo “≥”, mostrado acima, tem o significado de “equivalente ou sinônimo” quando o elemento anterior se constitui de uma única componente do tipo do elemento seguinte; e tem o sentido de “composto por” quando o elemento anterior é constituído por mais de uma componente do tipo do elemento seguinte (FERNANDEZ, 2016).

O *Framework* CT^2P é uma abordagem sistemática de modelagem para conduzir estudos de CT^2P, composta de: (1) uma Arquitetura do Conhecimento formado pelo modelo de processo hierárquico transdisciplinar criado (modelo conceitual ou referência) e todas as informações complementares sobre o sistema a ser estudado; (2) um Método de Implementação, abrangendo os processos do ciclo de vida de desenvolvimento do produto e de gestão da organização; e (3) um Ambiente de Apoio, que é composto pelo conjunto integrado e interoperável de ferramentas utilizadas e suas aplicações (KIENBAUM, 2014).

Nos subitens seguintes, serão detalhados os três elementos que compõem a estrutura base da CT^2P.

2.2. Arquitetura do Conhecimento

A arquitetura do conhecimento em CT^2P adota uma visão de mundo estendida daquilo que é geralmente definido na literatura como *Business Process Maturity Models* (BPMM), que é uma agregação das definições genéricas de *Business Process* (BP), *Business Process Management* (BPM) e *Business Process Orientation* (BPO), já intrínsecos da BPMM.

A este agregado originalmente proposto em Looy et al. (2014), Kienbaum (2015) adicionou outros conceitos derivados de disciplinas relacionadas à realização de estudos avançados sobre processos discretos complexos em geral, de modo a fazer uma estruturação de todas estas componentes em camadas.

As disciplinas adicionadas na visão holística estendida do BPMM apresentada na CT^2P são as disciplinas de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (ESBM), Gerenciamento de Projetos (GP) e Modelagem e Simulação de Sistemas (SIM), sendo que esta última, às vezes, já se encontra contida na GPN, embora neste caso, trate-se de uma forma simplificada de simulação de processos, uma vez que as funcionalidades de sistemas completos de simulação ultrapassam, em muito, os recursos para este fim disponibilizados em sistemas do tipo *Business Process Manangement Systems* (BPMS).

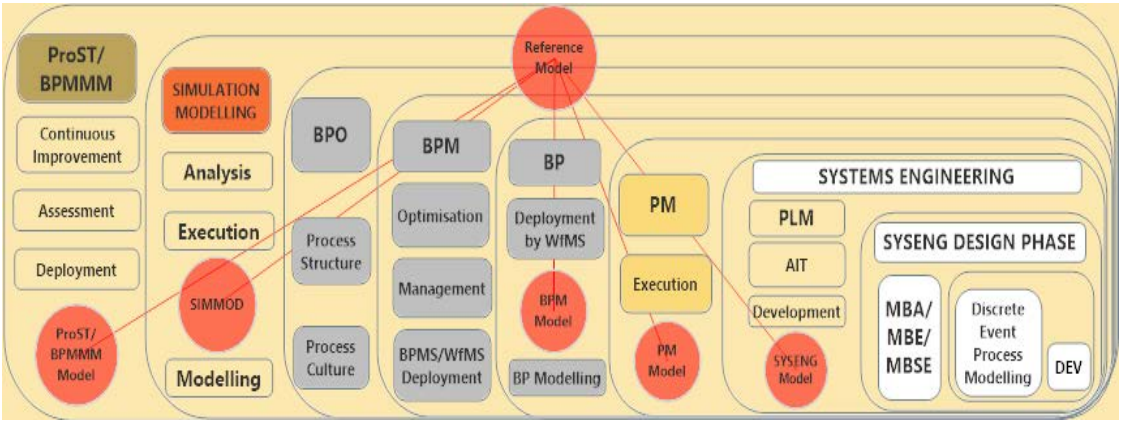
Essa visão holística sobre a área de pesquisa do BPMM denominada CT^2P é retratada como uma integração ou unificação de todas suas técnicas componentes normalmente utilizadas de forma autônoma, porque ela faz uso de um elemento comum (modelo de referência) para a criação dos modelos especializados. A utilização do modelo de referência é a base fundamental da abordagem, que permite a aplicação conjunta das diferentes disciplinas e a exploração dos seus benefícios complementares, bem como a superação de eventuais deficiências que ocorreriam em aplicações individuais.

2.2.1. Visão Descritiva

O domínio completo do conhecimento é formado por uma estrutura hierárquica em camadas, partindo do componente mais específico ao mais genérico, cada um representando uma parte da base de conhecimento e estendendo o seu antecessor até formarem a imagem completa do escopo da CT^2P.

A Figura 2.1, a seguir, descreve os elementos e sua estrutura representativa da base de conhecimento completa envolvida em CT^2P. A visão descritiva mostrada transmite não apenas a noção de hierarquia – do mais simples, mais específico, ao elemento mais geral ou complexo –, mas também uma precedência na maneira como se deve progredir na compreensão e aplicação das várias técnicas apresentadas na literatura.

Figura 2.1 – A visão descritiva da arquitetura do conhecimento em CT^2P.



Fonte: Kienbaum (2015, p. 9).

Outro aspecto relevante desta representação gráfica é que o "processo do ciclo de vida" das várias técnicas de modelagem que estão sendo descritas, ou seja, a evolução dos modelos ao longo de seu ciclo de vida é representada pela exibição vertical de alguns conceitos, como fases de projeto, implementação de modelos, implantação, execução e análise, existentes em cada uma delas (KIENBAUM, 2014).

2.2.2. Visão do Processo

Já a Figura 2.2 apresenta a ideia da modelagem unificada de processos e mostra o procedimento de modelagem estruturada (visão de processo) proposto para sua aplicação simultânea na resolução de problemas em um estudo CT^2P. Os retângulos arredondados correspondem aos processos de transformação, os cilindros, às bases de dados com informações sobre o estado real do modelo em desenvolvimento e as setas mostram a direção do fluxo de execução ao longo do tempo.

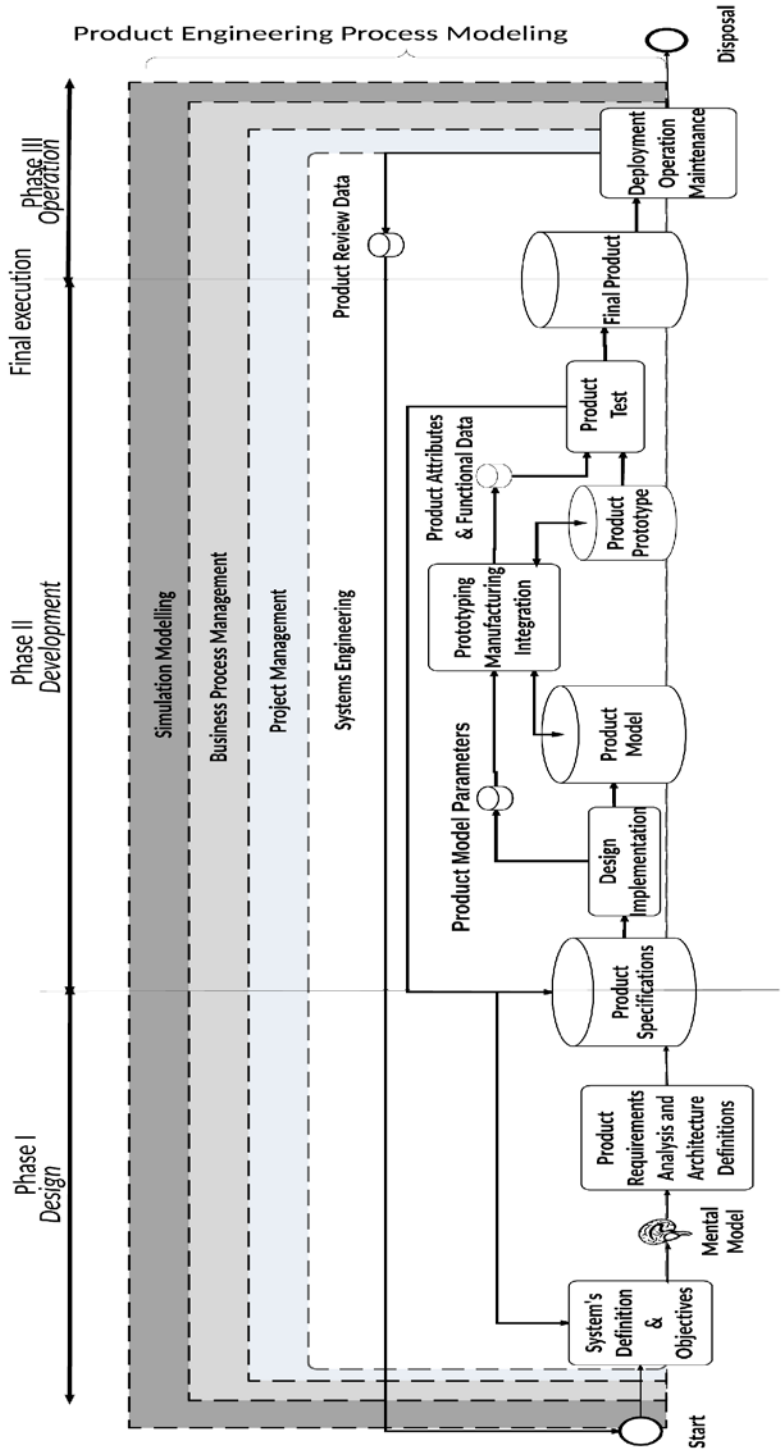
As disciplinas de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (ESBM), Gerenciamento de Projetos (GP), Gestão de Processos de Negócios (GPN) e Modelagem e Simulação de Sistemas (SIM) são representadas como técnicas complementares que podem ser gradualmente aplicadas para a descrição e evolução da engenharia unificada de produto e os modelos de gestão organizacional ao longo de seus ciclos de vida completos.

As disciplinas estão dispostas em camadas, indicando uma ordem de precedência para a criação de seus modelos especializados, embora a realização de passos graduais e sucessivos para sua implementação, dentro de cada disciplina e através delas, seja uma ideia central de todo o processo de desenvolvimento.

Deve-se pensar nesta abordagem de modelagem como a orquestração de diferentes serviços, cada um relacionado a uma visão de um modelo específico, correspondente ao tipo de técnica envolvida no processo completo de desenvolvimento do ciclo de vida do sistema real.

Outro ponto importante a ser observado é que o modelo de processo multicamadas, com seus diferentes tipos de representações, é criado com base em um modelo de referência, que é produzido desde o início do processo de modelagem e que é usado consistentemente em todos os níveis associados com as várias disciplinas.

Figura 2.2 – A visão de processos da arquitetura do conhecimento em CT^2P.



Fonte: Kienbaum (2015, p. 11).

As áreas sombreadas associadas às disciplinas são denominadas dimensões e estão relacionadas com o tipo de conhecimento do agente envolvido no ciclo de vida completo do produto. Os tons de cinza cada vez mais escuros indicam uma classificação, começando com um perfil mais técnico (vinculado ao desenho e à especificação do produto), típico do engenheiro de sistemas, seguido pelo gerente de projeto e por aqueles com perfis mais gerenciais (processos de gestão da organização), representados pelos gerentes de processos de negócios e analistas de simulação.

As áreas de domínio de cada agente são representadas por essas camadas sobrepostas ao longo de todo o caminho de evolução do modelo e o agente responsável por uma visão de modelo descrita por uma camada externa faz uso de todas as outras visões internas, o que significa que a construção de seu modelo sucederá (ou será feito em paralelo com) seus predecessores. São necessárias repetidas iterações, a fim de alcançar o grau necessário de refinamento e consistência do modelo de referência a ser criado e utilizado por todas as partes interessadas.

O ciclo de vida completo do produto compreende o seu processo de desenvolvimento e o de gerenciamento pela organização produtora, ambos vistos como parte do ciclo de vida do processo empresarial completo, que compreende as fases de projeto, desenvolvimento, operação e descarte. Essas fases são todas cobertas pelos modelos especializados de processos, que necessitam ser criados, implementados, experimentados, analisados e avaliados. Após se realizar um ciclo de vida completo destes modelos especializados de processos, iterações sucessivas podem ser feitas para sua melhoria contínua. Este é o objetivo do chamado método de implementação, descrito em Kienbaum (2015) e apresentado de forma resumida a seguir.

2.3. Método de Implementação

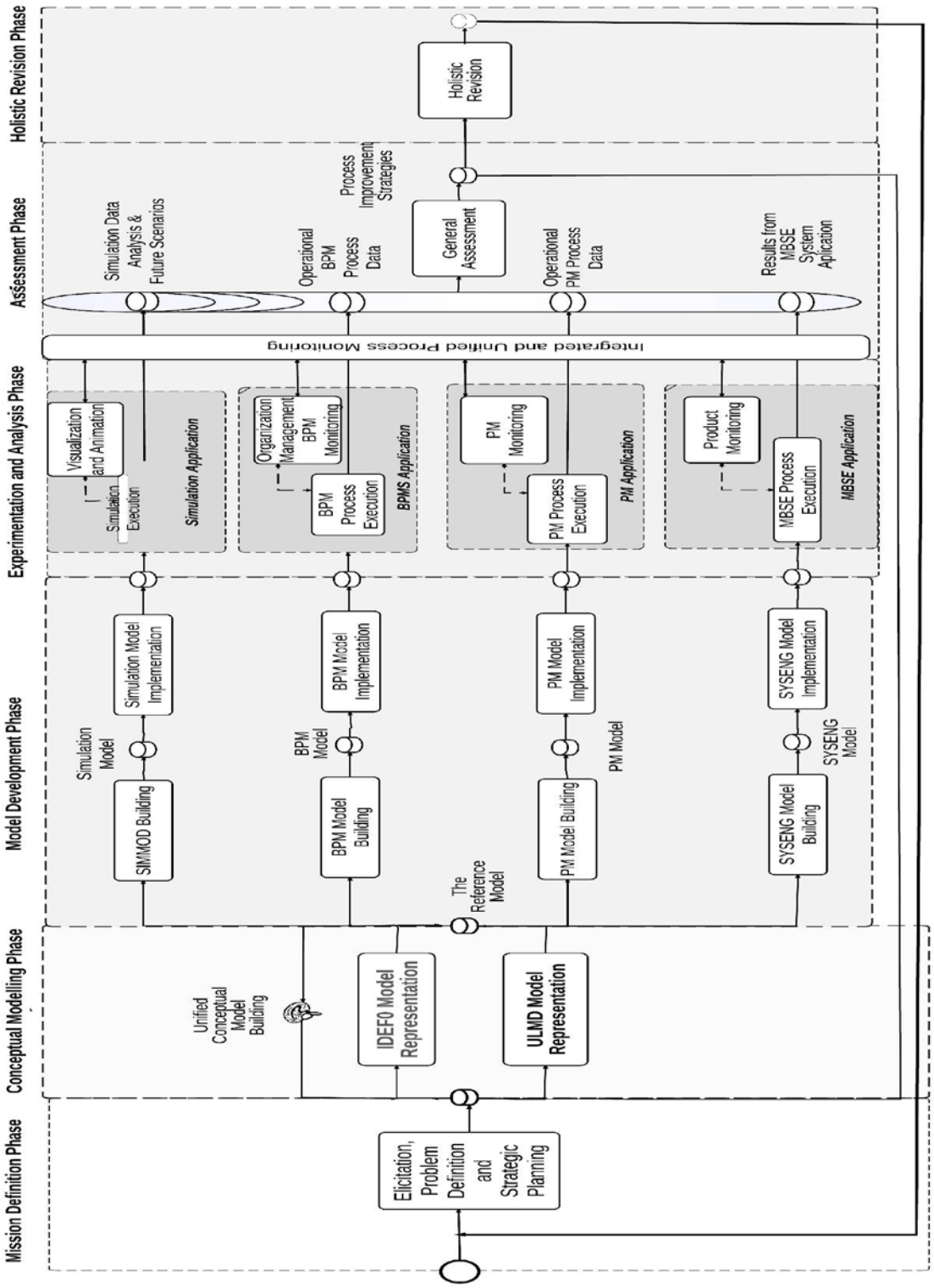
O *Método de Implementação* ou *Modelagem Unificada dos Processos do Ciclo de Vida* consiste na forma utilizada para a evolução e agregação das diferentes visões de processos, originárias das disciplinas de Engenharia de Sistemas (*Hardware* ou *Software*), Gerenciamento de Projetos, Gestão de Processos de Negócios, Modelagem de Simulação e de suas aplicações aos processos da Engenharia Concorrente de Sistemas. Na Figura 2.3, o método de implementação para aplicação do *Framework* CT^2P é apresentado em sua forma gráfica, para melhor visualização e entendimento.

Os retângulos arredondados são os processos de transformação, já os cilindros representam o conteúdo de conhecimento do modelo (artefatos de representação de modelo - vários formatos) em um ponto específico no tempo.

O *Modelo Unificado dos Processos do Ciclo de Vida* (composto pelos vários modelos especializados criados com base em um único modelo de referência), proposto pela abordagem CT^2P, inclui todas as principais atividades de engenharia relacionadas ao processo de desenvolvimento do produto, bem como os processos de gestão pela organização, que compõem o processo empresarial global ou do *Processo Unificado do Ciclo de Vida do Sistema*.

A primeira fase, também denominada *Definição da Missão*, compreende o levantamento dos dados ou elicitação, a definição do problema ou sistema, delimitado no seu ambiente, assim como a elaboração de um plano para a condução do estudo, com os objetivos e linhas gerais para sua execução.

Figura 2.3 – A visão de processos da arquitetura do conhecimento em CT2P



Fonte: Kienbaum (2015, p. 10).

O termo *Modelo Conceitual* utilizado no *Framework* CT^2P é um conceito associado ao conteúdo lógico mental dos processos de transformação ocorridos no sistema, levando em consideração os objetivos do estudo, ou seja, o *workflow* dos processos componentes do ciclo de vida do sistema. Pode ser visto como o conteúdo essencial do conhecimento que pode ser extraído sobre os processos componentes do ciclo de vida de desenvolvimento do produto e de gestão pela organização, seja o produto aqui mencionado um componente de *hardware* ou *software*.

O uso do termo *Modelo Conceitual* na CT^2P é consistente com a sua definição apresentada pela metodologia cônica de Nance (1994), que diferencia modelo conceitual de modelo comunicativo, sendo esta última designação utilizada para os diversos formatos de representações com as quais um modelo pode ser descrito, de acordo com Nance (1994 apud KIENBAUM, 2014).

A fase de *Modelagem Conceitual* corresponde à evolução do modelo de processos, desde sua elicitação de informações até sua conclusão e representação na forma denominada de *Modelo de Referência* do sistema. Tal *Modelo de Referência* é criado em duas etapas, sendo seu conteúdo lógico representado usando-se dois tipos de diferentes técnicas de diagramação, a saber, IDEF0 e ULMD, conforme detalhado em Fernandez (2016).

A criação e o uso do *Modelo de Referência* são fundamentos básicos da metodologia, a fim de assegurar a consistência cruzada dos modelos especializados a serem criados posteriormente, utilizando vários tipos de notações, e a integração e unificação dos resultados que serão produzidos por eles. Cada tipo de modelo tem como meta a exploração de uma diferente área de conhecimento e dos benefícios advindos de seu uso na criação de um modelo multifacetado para a realização de uma análise completa do problema.

O *Modelo de Referência* resume os resultados da especificação e da representação dos aspectos essenciais das principais atividades de engenharia de produto, denominados "processos do ciclo de vida de desenvolvimento do produto", bem como dos procedimentos gerenciais da organização,

denominados "processos de gestão pela organização". Os artefatos de entrada e de saída de cada processo estão diretamente relacionados com dados e objetos de sistema, descritivos da configuração do produto, por exemplo, um desenho em CAD. Juntos, todos estes elementos constituem o modelo unificado de processos do ciclo de vida do sistema. A *Fase de Modelagem Conceitual* também define os limites do sistema, os parâmetros de controle do modelo e eventuais premissas e restrições adicionais, ou seja, o escopo geral e os objetivos do estudo.

A modelagem do *Processo de Gestão pela Organização* é feita pela identificação dos aspectos essenciais da arquitetura e funcionamento da organização para a produção do produto. Por arquitetura, entende-se a estrutura organizacional, os tipos de agentes ou participantes, suas interações, o tipo de recursos utilizados por eles, bem como os dados globais do sistema a respeito dessas entidades e recursos. A operação refere-se aos processos executado pela organização e seus participantes e os dados do modelo a eles relacionados.

A segunda fase é denominada *Desenvolvimento dos Modelos Especializados*, dividida em várias linhas, cada uma abordando uma técnica especializada, constituída por dois subprocessos, quais sejam: a) Bricolagem do Modelo Especializado; e b) Implementação/construção do Modelo Especializado. Cada subprocesso é representado na Figura 2.3 com uma única atividade no seu nível mais inferior de decomposição, podendo ainda ser decomposta hierarquicamente, se necessário.

Esta fase de modelagem produz uma descrição em múltiplas camadas, na qual as técnicas utilizadas para construir as camadas do modelo são dispostas e executadas na seguinte ordem, da mais interna para a mais externa: Engenharia de Sistemas - Gerenciamento de Projetos - Gestão de Processos de Negócios - Modelagem para Simulação. As representações utilizadas em cada uma das etapas de modelagem são aquelas tradicionalmente utilizadas pela respectiva disciplina que está conduzindo a etapa de modelagem correspondente.

O *Desenvolvimento dos Modelos Especializados* consiste na transformação do Modelo de Referência em diferentes formatos. Cada tipo de modelo tem como alvo uma diferente área de conhecimento, e os benefícios que produzem decorrem exatamente da utilização destes em conjunto, devido às funcionalidades e potenciais das diferentes ferramentas para a realização desta modelagem e análise multifacetada do problema adotando diferentes visões.

A etapa de *Bricolagem de Modelos Especializados* é realizada com o suporte de ferramentas para implementação de modelos gráficos, provenientes das diversas disciplinas que estão sendo consideradas, como ferramentas para modelagem BPMN e interfaces gráficas de sistemas de simulação para a descrição do modelo em seu formato de representação proprietário da ferramenta em questão. Sem a existência de um ambiente especialmente criado para auxiliar esta fase de criação e transcrição de modelos, ela é a mais difícil e demorada de se realizar, uma vez que o próprio modelador tem de assegurar a consistência e equivalência dos modelos criados nas diferentes ferramentas, por não existir suporte automatizado destas ferramentas para auxiliar ou verificar estes procedimentos.

Na segunda etapa da fase de *Desenvolvimento do Modelo Especializado*, isto é, na *Implementação do Modelo Especializado*, faz-se uso de todas as funcionalidades das ferramentas componentes dos ambientes de apoio para a conclusão dos modelos. Normalmente, estas funcionalidades são fornecidas como extensão dos mecanismos de modelagem nos ambientes de suporte existentes para a *Bricolagem dos Modelos Especializados* mencionados anteriormente. Estas funcionalidades adicionais permitem a plena implementação das aplicações necessárias, por exemplo, no caso dos simuladores e das ferramentas BPMS utilizadas para apoiar a abordagem.

Os vários modelos de processo passam por uma terceira fase de transformação, a *Fase de Experimentação e Análise*, com a adição do projeto de experimentos e a execução das aplicações do modelo, que serão executadas de acordo com diferentes visões.

A aplicação conjunta das várias ferramentas de modelagem e análise ao mesmo modelo do ciclo de vida unificado visa alcançar os benefícios complementares de cada uma das técnicas envolvidas. Os sistemas BPMS permitem a criação de aplicações para automatizar a operação do sistema real e permitir o monitoramento e a gestão dos seus processos. Os benefícios do uso de ferramentas de simulação avançadas provêm do uso de mecanismos pré-construídos, que permitem a criação de projetos de experimentos e uma análise de performance bem elaborada dos diferentes cenários de execução.

Os dados coletados durante a operação do sistema real podem ser usados como dados de entrada para a execução do modelo de simulação, tornando a validação mais fácil e as projeções dos cenários futuros, mais confiáveis. Uma questão importante a se ter em mente é em relação à verificação da implementação dos diferentes modelos especializados, a fim de manter a consistência e a validade dos requisitos e especificações do sistema ao longo de todo o processo de evolução dos modelos.

A *Fase de Avaliação Global* realiza – de forma integrada, mas de acordo com as diversas visões e disciplinas – a avaliação dos resultados dos diferentes segmentos de execução, como os segmentos de gerenciamento de projetos, de gestão de processos de negócios e de simulação, e estabelece estratégias de melhoria contínua dos modelos de processos.

A implementação das estratégias de melhoria contínua dos modelos e a introdução de alterações no sistema podem tornar necessário reiniciar o procedimento de modelagem, bem como executar o ciclo de vida completo dos modelos tantas vezes quantas forem necessárias.

2.4. Ambiente de Apoio

As técnicas integradas e unificadas envolvidas em um estudo CT^2P precisam de suporte de *hardware* auxiliado por computador e ferramentas de engenharia de *software*, a fim de assegurar consistência e compatibilidade entre diferentes formatos de modelo e a interoperabilidade completa de suas ferramentas.

Essas ferramentas vão desde sistemas de projeto e fabricação auxiliados por computador, ambientes de engenharia de *software*, interfaces de comunicação, mecanismos de verificação até aplicativos para executar transcrições e implementações automáticas de modelos.

O uso das diversas disciplinas, com suas diversas capacidades de modelagem e formatos de representação diferentes, permite um estudo e análise mais aprofundados de todo o ciclo de vida do modelo, desde a criação de modelos, implementação, execução, experimentação, análise e melhoria contínua dos processos. O estudo e análise do modelo são conduzidos em paralelo à operação do sistema real (a empresa). A operação do sistema real pode ser orquestrada por alguns aplicativos BPMS, por exemplo, e os dados gerados por esses aplicativos podem ser usados como fonte de entrada de dados para o modelo, e de outras ferramentas de apoio à gestão de projetos e processos em geral, bem como para a definição de parâmetros de controle e validação da simulação.

2.5. Síntese dos Benefícios e Desvantagens da CT^2P

Na forma como ela se encontra atualmente, a abordagem transdisciplinar CT^2P pode ser aplicada a qualquer categoria de processos a eventos discretos complexos que possa ser tratada com sua notação Diagramas para Modelagem Unificada do Ciclo de Vida (FERNANDEZ, 2016), além de ser escalável e capaz de ser usada em contextos mais amplos, abrangendo todo o CVS ou até mesmo a gestão de processos de negócios da organização como um todo.

Os benefícios esperados do uso da abordagem CT^2P para estender a forma tradicional como as metodologias autônomas são encontradas na literatura e aplicadas na condução de estudos avançados para a solução de problemas da área de Engenharia Concorrente de Sistemas assinaladas em Kienbaum, (2014) são:

a) A sistematização do processo de criação do modelo de referência como passo inicial da criação dos demais modelos especializados de processos abaixo listados, permitindo a manutenção da consistência entre eles e a exploração de suas funcionalidades complementares;

b) A criação simultânea de diferentes modelos de processos consistentes entre eles, a saber: um modelo de engenharia de sistemas com a descrição completa do ciclo de vida dos processos de transformação pelos quais passam o produto; um modelo de gerência de projetos para acompanhamento do ciclo de vida completo do projeto; um modelo de gestão de processos de negócios usando as mesmas técnicas tradicionais da disciplina BPM, como a notação BPMN e suas funcionalidades para desenvolvimento de aplicativos que permitem a automatização dos processos; e um modelo para simulação de sistemas, que permite sofisticadas análises de performance do modelo de processos criado, tanto da interação entre as entidades, como da utilização de recursos e dos custos baseados em atividades;

c) As diferentes visões necessárias para a criação do modelo multifacetado requerem, por parte das equipes multidisciplinares envolvidas, uma reflexão mais profunda sobre a estrutura e a dinâmica dos modelos, levando a um melhor entendimento do sistema e de seus processos de desenvolvimento pela organização, especialmente, nos casos de eles serem formados por complexos processos a eventos discretos;

d) A criação dos modelos especializados com a interação entre as equipes, suas execuções, experimentações e análises resulta em melhores avaliações e documentação do sistema e de seus processos de desenvolvimento;

e) A identificação dos elementos essenciais descritivos do processo de engenharia de sistemas e dos processos de gestão pela organização produtora é realizada desde o início do procedimento de modelagem, mas tais elementos podem (e devem) ser complementados, pelo

analista, ao longo do ciclo de vida dos modelos, a fim de realizar a completa implementação dos modelos especializados de processos nas diversas técnicas.

O resultado final e a consequência maior do uso da abordagem CT^2P para substituir o uso isolado das metodologias e técnicas oriundas das disciplinas citadas é uma melhor qualidade dos modelos criados e a obtenção dos benefícios conjuntos do seu uso no ciclo de vida completo do desenvolvimento do produto.

No tocante às desvantagens do uso da metodologia, foi apontado por Fernandez (2016, p. 144):

> Uma dificuldade constatada referiu-se à existência de uma sobrecarga de trabalho, ligada à tentativa de se aplicar uma abordagem transdisciplinar utilizando-se ferramentas autônomas já existentes, o que acarreta um esforço adicional por parte dos desenvolvedores para a verificação da consistência e a manutenção da compatibilidade destes modelos durante todo o seu ciclo de vida.
> Esta sobrecarga é tida, no entanto, apenas como uma antecipação de problemas futuros, que poderiam permanecer sem solução, caso se tivesse optado pela aplicação independente das técnicas e pela obtenção e interpretação dos seus resultados de forma tradicional.
> O inconveniente mencionado também poderá ser reduzido em estudos futuros, com o uso de ambientes de apoio para a aplicação de CT2P, pelo desenvolvimento de procedimentos de verificação formal e de mecanismos de software para melhorar a consistência, e assegurar a transcrição e compatibilidade dos modelos especializados de processos desenvolvidos.

3 A FASE DE *DESIGN* DO CICLO DE VIDA DA ENGENHARIA DE SISTEMAS

A Fase de *Design* do processo do ciclo de vida da engenharia de sistemas é a fase do projeto em que o sistema está sendo concebido e especificado. Este capítulo apresenta o modelo de processos para fase de *design* da engenharia de sistemas do SEBoK (2016), bem como as revisões e adequações às normas de engenharia de sistemas espaciais e da gerência de projetos realizadas por Fernandez (2016). O modelo de referência resultante será utilizado como ponto de partida para o projeto do ambiente de apoio apresentado neste trabalho.

3.1. Modelo Original SEBoK

Na sua definição original, constante no SEBoK (2016), a fase de *design* é composta de dois macroprocessos: a Definição de Conceitos e a Definição de Sistemas.

3.1.1. Definição de Conceitos

Segundo Pyster e Olwell (2013 apud FERNANDEZ, 2016), a Definição de Conceitos é o conjunto de processos em que se verifica detalhadamente o contexto do problema, as necessidades e requisitos do negócio/ *stakeholders*, por meio dos processos de Análise de Missão e de Necessidades e Requisitos dos *Stakeholders*.

De acordo com o SEBoK (2016 apud FERNANDEZ, 2016), a Análise de Missão concentra-se no entendimento do problema – usualmente denominado de contexto do problema – e compreende ainda as restrições sobre os limites do sistema selecionado e inicia o ciclo de vida de uma solução para o problema em questão.

As Necessidades e Requisitos dos *Stakeholders* têm como objetivo elicitar um conjunto de necessidades relacionadas a uma nova missão de um produto,

visando transformá-las em requisitos claros, concisos e verificáveis (FERNANDEZ, 2016).

3.1.2. Definição de Sistemas

Segundo Pyster e Olwell (2013 apud FERNANDEZ, 2016), a Definição de Sistemas inicia-se com a decisão de um patrocinador em investir recursos para o desenvolvimento de um sistema. Nela, existe um conjunto de atividades da Engenharia de Sistemas que busca: definir e priorizar os requisitos de *stakeholders*; selecionar os principais *stakeholders* e os requisitos sistêmicos; definir cenários de operações; planejar o ciclo de vida e desenvolver as arquiteturas lógica e física do sistema; e realizar a análise do sistema a fim de encontrar a solução mais adequada.

Toda organização que tenha a Engenharia de Sistemas como diretriz principal de seus processos de produção pode fazer uso dos conceitos e definições de CVP dados no SEBoK (2016) para descrever sua fase de *design* do produto de acordo com o modelo de referência supramencionado.

Durante a execução do modelo, várias iterações e/ou realimentações (ciclos, retornos) são realizadas, buscando a definição e a especificação completa do Sistema de interesse.

3.2. Ajustes Gerais do Modelo SEBoK

O modelo de referência dos processos da fase de *design* da engenharia de sistemas proposto foi baseado nos processos de ciclo de vida do SEBoK (2016), tendo recebido inicialmente alguns ajustes de formato, visando manter sua generalidade para aplicação ao ciclo de vida da engenharia de sistemas:

a) Inclusão do processo de Análise de Sistemas na representação gráfica do macroprocesso de Definição de Sistemas, que constava apenas em sua descrição textual;

b) Introdução de algumas designações (iterações, retrabalhos e revisões) para os diferentes tipos de *loops* encontrados no modelo original;

c) A adoção da convenção de que o fluxo de controle é passado sempre para o próximo processo, mesmo que não haja nenhuma alteração no produto e/ou artefatos gerados (FERNANDEZ, 2016).

As demais alterações do modelo original SEBoK para a criação do modelo final de referência a ser usado no trabalho visam sua adequação ao contexto de missões espaciais e às técnicas de gerenciamento de projetos, conforme descritas a seguir.

3.3. Adequação às Normas da Engenharia de Sistemas Espaciais

A principal modificação no modelo SEBoK (2016) foi a adequação do processo Análise de Missão, que no original se referia à missão da organização, mas que precisava estar vinculado à definição do produto e, em especial, àqueles relacionados com a área espacial. Para isto foi adotada a norma ECSS (2009), que considera a Análise de Missão dividida em duas partes, nomeadas de Análise de Missão e Análise de Viabilidade. A escolha baseou-se no fato de que os profissionais da divisão de Engenharia e Tecnologia Espaciais do INPE já adotam esta norma em suas atividades.

Para adequação do modelo a missões espaciais, tornando-o compatível com as normas de engenharia de sistemas espaciais – tais como as normas ECSS-E-ST-10C (Space engineering – System engineering general requirements) da ECSS (2009), ECSS-M-ST-10C (Space project management – Project planning and implementation) da ECSS (2009) e NPR 7123.1B (NASA Systems Engineering Process and Requirements) da NASA (2007) –, foram introduzidas algumas modificações nos processos Análise de Missão e Análise de Viabilidade visando ao cumprimento especificamente das normas ECSS-E-ST-10C e ECSS-M-ST-10C, conforme descritos abaixo (FERNANDEZ, 2016).

3.3.1. Análise de Missão

De acordo com os padrões ECSS (2009), o processo de Análise da Missão consiste nas seguintes atividades: (1) Elaborar a declaração de missão; (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.

3.3.2. Análise de Viabilidade

O processo de Análise de Viabilidade (AV) foi incorporado ao modelo considerando-se as seguintes normas descritas na ECSS*:* ECSS-E-ST-10C – Engenharia Espacial: Requisitos Gerais da Engenharia de Sistemas (ECSS, 2009); e ECSS-M-ST-10C – Gerenciamento do Projeto Espacial: Planejamento e Implementação (ECSS, 2009).

O objetivo da Análise de Viabilidade é elaborar planos preliminares de engenharia, gestão e garantia de produto, de modo a especificar os requisitos para determinar a viabilidade técnica do projeto, de acordo com o prazo e custo estimados, bem como as possibilidades de sucesso e de continuidade do projeto.

3.4. Adequação à Gerência de Projetos

O gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto, a fim de atender aos requisitos dos *stakeholders* PMBOK (2014).

A Gerência de Projetos tem como objetivo planejar e coordenar as atividades necessárias para obtenção de um produto ou serviço aceitável, considerando as restrições do cronograma, orçamento, recursos, infraestrutura e recursos humanos e tecnologia. Pode-se ainda, por meio da aplicação das técnicas e ferramentas da área de gerenciamento de projetos, ampliar o modelo de engenharia com as atividades relacionadas à gestão do desenvolvimento de produtos durante o ciclo de vida.

Diante disso, foi adicionado um processo denominado Planejamento (PL), formado por alguns subprocessos, considerados os mais relevantes entre as

áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos, quais sejam: Escopo, Tempo, Custo e Risco.

No modelo ajustado aos padrões do Gerenciamento de Projetos, a composição do macroprocesso Definição de Conceitos resultou nos seguintes subprocessos: Análise de Missão, Análise de Viabilidade, Planejamento, Necessidade e Requisitos de *Stakeholders*.

O segundo macroprocesso, Definição de Sistemas, manteve seu formato original de acordo com o SEBoK (2016) e não sofreu nenhuma modificação (FERNANDEZ, 2016).

3.5. Modelo de Referência para a Fase de *Design*

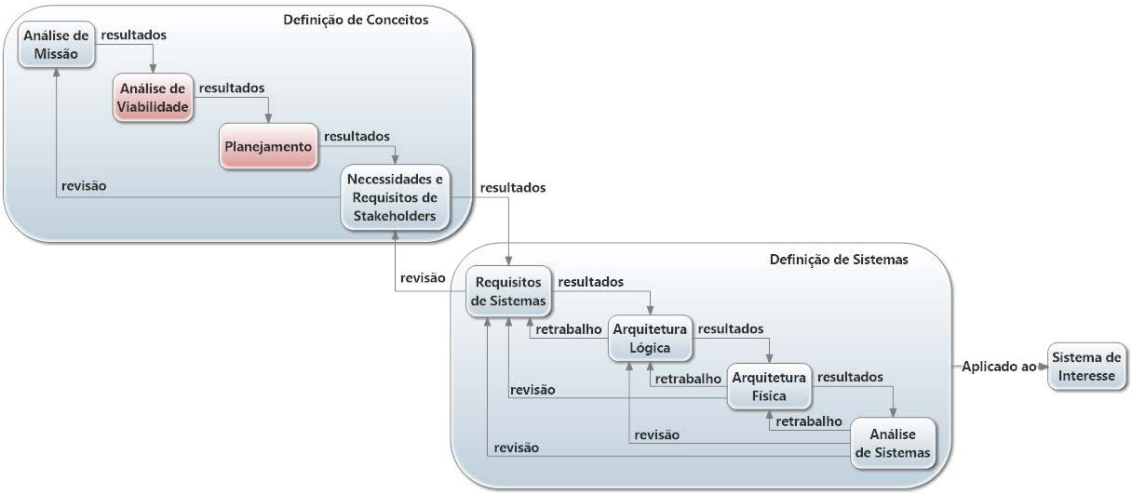
O modelo de referência para a fase de *design* resultante das modificações supracitadas é mostrado da Figura 3.1, de acordo com Fernandez (2016), sendo composto por dois processos principais:

a) O processo de Definição de Conceitos, composto por quatro subprocessos nomeados Análise de Missão, Análise de Viabilidade, Planejamento e Necessidades e Requisitos de *Stakeholders*;

b) O processo de Definição de Sistemas, composto por quatro subprocessos nomeados, Requisitos de Sistemas, Concepção da Arquitetura Lógica, Concepção da Arquitetura Física e Análise de Sistemas.

A Figura 3.1 retrata o modelo de processo já em sua forma modificada, de acordo com Fernandez (2016). Os processos destacados (Análise de Viabilidade e Planejamento) são os que não existiam no modelo SEBoK original.

Figura 3.1 – Macroprocessos da Fase de *Design* do Ciclo de Vida do Produto.



Fonte: Fernandez (2016).

4 ESCOPO DA PESQUISA

Este capítulo detalha a fase de definição da missão, que permitirá a identificação e a descrição detalhada do problema, de acordo com o método de implementação da metodologia CT^2P.

4.1. Fundamentos de PLM

PLM, em língua portuguesa, corresponde à “gestão do ciclo de vida do produto”. Desta forma, os dois conceitos fundamentais envolvidos na definição de PLM são os de produto e de ciclo de vida, que são apresentados a seguir.

4.1.1. Produto

A palavra "produto" tem muitos significados e implicações no contexto do PLM. Existe o produto físico individual, que está nas mãos do cliente. Existem várias descrições desse produto na empresa ou empresas que desenvolvem, produzem e apoiam. Estes podem ser em papel e / ou em computadores. O produto pode ser um sucessor ou um derivado de outro produto. Pode ser um produto de uma linha de produtos, e estes podem ser partes de uma família de produtos. O produto pode ser feito de muitas montagens e milhares de peças. Por sua vez, todos estes constituem o portfólio de produtos da empresa.

O produto individual utilizado pelo cliente pode ser apenas um de um lote idêntico de milhares, ou um produto único. Pode ser tangível ou intangível, como um produto de *software* ou uma apólice de seguro. O "produto" pode ainda ser um serviço (STARK, 2011).

4.1.2. Ciclo de Vida

Compreender as fases pelas quais passa um produto é fundamental para o entendimento da gestão do seu ciclo de vida.

De acordo com Stark (2011), os conceitos de produto e de ciclo de vida de desenvolvimento já existem há muito tempo em muitas áreas industriais. Porém, o entendimento do significado do termo ciclo de vida do produto entre

fabricantes e usuários é divergente. Nas duas visões, as três primeiras fases são as mesmas, porém, as duas últimas são diferentes, conforme indica a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Visões do ciclo de vida de produtos.

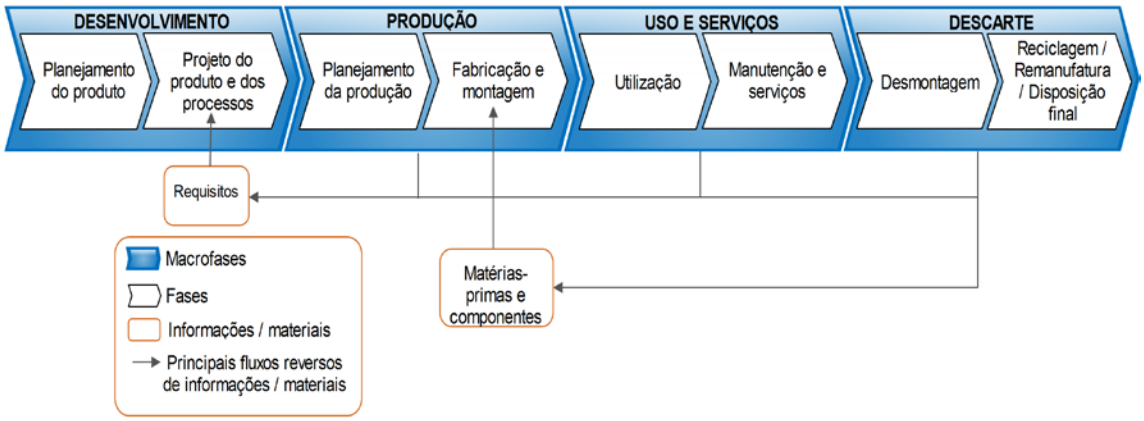
FASES	A	B	C	D	E
USUÁRIO	Imaginar	Definir	Realizar	**Usar/Operar**	**Descartar/Reciclar**
FABRICANTE	Imaginar	Definir	Realizar	**Dar suporte**	**Retirar**

Fonte: Stark (2011).

Segundo Stark (2011), existe ainda uma visão que merece destaque, que é o ciclo de vida de material do produto. Nesse ciclo de vida, um material é processado, utilizado na fabricação de um produto, consequentemente este produto é utilizado e, quando ele não é mais necessário, o descarte do material/resíduo precisa ser gerido, podendo ser reutilizado, reciclado ou eliminado.

Para Zancul (2009), o ciclo de vida de um produto compreende todas as fases pelas quais evolui o produto, desde a sua concepção até a destinação final, após seu uso. Em geral, o ciclo de vida pode ser distribuído em quatro macrofases típicas, a saber: desenvolvimento do produto, produção, uso do produto em conjunto com serviços agregados e descarte, conforme Figura 4.1.

Figura 4.1 – Fases do ciclo de vida de produto.



Fonte: Adaptado de Zancul (2009).

As atividades que compõem o ciclo de vida, bem como sua importância, podem variar de uma área industrial para outra. Elas incluem o projeto do produto, especificação, desenvolvimento, testes, liberação, embalagem, operação, implantação, manutenção, serviço, desativação, demolição, reciclagem e eliminação. Qualquer que seja a área industrial, as atividades se encaixam em uma das fases do ciclo de vida descritas anteriormente (STARK, 2011).

Ao longo das fases do ciclo de vida supracitadas, é gerada grande quantidade de informações, que precisam ser gerenciadas, levando à abordagem da gestão do ciclo de vida do produto, desde sua concepção até o seu descarte (ZANCUL, 2009).

4.2. Definições de PLM

Na literatura sobre PLMs consultada neste trabalho, eles são vistos sob três perspectivas (Estratégia, Metodologia e Ferramentas), conforme definidos pelos autores a seguir:

a) Segundo Vieira, Bouras e Debaecker (2013), o PLM é caracterizado simultaneamente como uma estratégia, uma metodologia e uma ferramenta de suporte ao processo de desenvolvimento de produtos. O PLM é uma estratégia na medida em que ajuda a empresa a alcançar suas metas e, ao mesmo tempo, suporta o direcionamento de decisões quanto a produtos, serviços e operações. Entretanto, o PLM também é uma metodologia, uma vez que, de forma padronizada e muito clara, define as atividades críticas que compõem e estruturam cada processo ao longo do ciclo de vida do produto. E por último, o PLM também é uma ferramenta pois frequentemente funciona com base em famílias de *softwares*.

b) De acordo com Anselmi e Antti (2004), PLM não se refere a qualquer *software* de computador ou método individual. É um conjunto de elementos funcionais que são aplicados de acordo com um método sistemático para controlar e orientar o processo de criação,

manipulação, distribuição e gravação de informações sobre o produto relacionado.

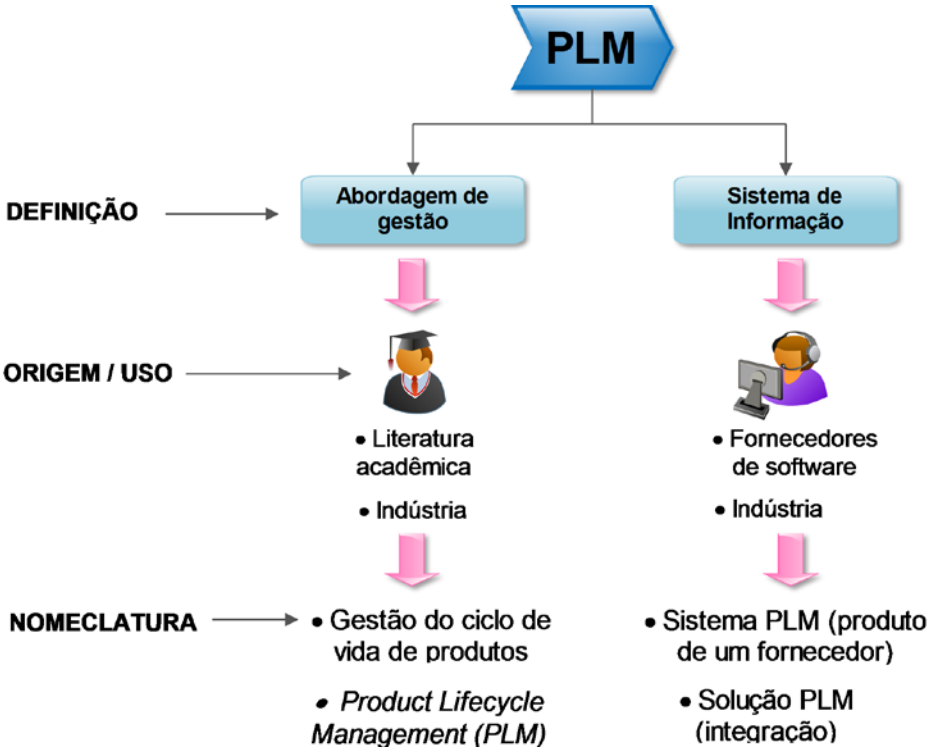
c) Conforme Stark (2011), PLM é uma abordagem holística que envolve a utilização, da forma mais eficaz, tanto dos processos de operação e métodos de gestão dos produtos da empresa por todo o seu ciclo de vida, quanto de sua estrutura organizacional, composta por sua infraestrutura, pessoas e sistemas de informação.

d) A empresa de pesquisa de mercado e consultoria, CIMData (2016), define PLM como uma abordagem estratégica de negócios que aplica um conjunto consistente de soluções que suportam a criação, gestão, disseminação e uso de informações na definição do produto de forma colaborativa, apoiando toda a organização (clientes, *design* e parceiros de fornecimento, etc.), abrangendo desde o conceito até o fim da vida, integrando pessoas, processos, sistemas de negócios e informações.

De acordo com análises das definições acima pode-se concluir que o conceito de PLM possui diversos tipos de interpretações, de modo que não está limitado ao simples uso de sistemas de informação, mas deve ser compreendido como uma abordagem ampla de integração e gestão dos processos, que requer sistemas de informação para a sua implantação.

A implantação de PLM como abordagem de gestão envolve mudanças de processos e a revisão de conceitos utilizados na empresa. Já a implantação de PLM como ferramenta enfatiza a instalação de um novo sistema de informação, exigindo a realização de mudanças nos processos, porém, a ênfase maior é em possibilitar a utilização de novos recursos de Sistema de Informação, conforme apresentado na Figura 4.2 (ZANCUL, 2009).

Figura 4.2 – Distinção entre PLM como abordagem e Sistema de informação.



Fonte: Adaptado de Zancul (2009).

Neste trabalho, os aspectos relacionados com a abordagem utilizada para a gestão do ciclo de vida do produto, denominada *Framework* ENGESIS, baseada na integração de métodos e ferramentas provenientes das disciplinas de engenharia de sistemas, gerenciamento de projetos, gestão de processos de negócios e simulação de sistemas, não constituem objeto central de estudo, já tendo sido apresentados em Fernandez (2016). Este trabalho complementa o *Framework* ENGESIS pelo projeto e implementação de um ambiente de apoio a ele, empregando-se o conceito de PLM sob a perspectiva de ferramenta, designada ambiente de apoio ENGESIS-PLM, conforme detalhado no capítulo 6.

4.3. A Evolução Histórica do Conceito PLM

PLM surgiu no início de 2001. Antes disso, as empresas tomavam as decisões relacionadas com o produto separadamente, por departamento, e totalmente desconectadas. Assim, o resultado final apresentava imperfeições e os produtos chegavam ao mercado com diversos problemas de funcionamento.

Ao reunir previamente as atividades anteriormente fragmentadas e desconectadas, sistemas e processos, o PLM ajudou a superar os múltiplos percalços resultantes da antiga abordagem desconectada (STARK, 2011).

O atual estágio de desenvolvimento da gestão do ciclo de vida de produtos é resultado da evolução das abordagens de gestão de dados de produtos e dos avanços da tecnologia da informação nos últimos vinte anos (ZANCUL, 2009).

Segundo Grieves (2006), PLM é um conceito que evoluiu ao longo do tempo. Tal como aconteceu com o ERP, referências à PLM surgiram como uma visão mais ampla de técnicas e ferramentas existentes, que evoluíram por meio de caminhos próprios durante vários anos, e que foram incorporados em ambientes computacionais, servindo como base para a criação de PLM. Dentre elas, quatro merecem maior atenção, quais sejam: *Computer Aid Design* (CAD), *Engineering Data Management* (EDM), *Product Data Management* (PDM), e *Computer Intergrated Manufacturing* (CIM). Mais do que a integração destas ferramentas, no entanto, PLM é caracterizado pela evolução gradual destas técnicas e ferramentas, que resultaram nos ambientes atuais de múltiplas funcionalidades e diversidade de aplicações.

A primeira destas ferramentas, os sistemas do tipo CAD, começou com a finalidade simples de projetar desenhos de modo mais rápidos e mais precisos; deriva desse conceito, portanto, o nome “computer adided design” ou “desenho assistido por computador”. As especificações e representações CAD, neste estágio inicial, constituíam a essência de um PLM e visavam fornecer uma definição completa da estrutura de um produto por meio de figuras geométricas.

Informações sobre o processo para a construção do produto, os instrumentos e processos para realizar testes e os resultados dos testes foram incorporados às ferramentas CAD pela adição de sistemas denominados EDM (GRIEVES, 2006). Com isto, os ambientes PLMs evoluíram rapidamente, passando a incorporar funcionalidades extras relacionadas com o ciclo de vida completo do

produto, que o fizeram deixar de ser um sistema subsidiário para se tornar um dos principais sistemas de gestão e sistematização dos dados do projeto.

O passo seguinte da evolução de PLMs foi o surgimento de aplicações de gerenciamento de dados do produto, denominadas PDM, desenvolvidas para organizar, integrar e armazenar as diferentes informações originadas de CAD e EDM em bancos de dados, substituindo as versões de projetos em papel e microficha por arquivos eletrônicos. Assim, foi possível uma gestão centralizada e mais eficaz de todas as informações relacionadas ao projeto de um produto.

Uma outra família de ferramentas, destinadas à engenharia de sistemas e denominada de “manufatura integrada auxiliada por computadores”, ou em inglês “computer integrated manufacturing” (CIM), teve sua evolução em paralelo aos sistemas supradescritos e visava ao compartilhamento da informação da engenharia do produto entre as áreas funcionais de uma organização. Especificamente, os dados e informações de engenharia poderiam ser transferidos em formato eletrônico para serem utilizados pela área de produção. O CIM incorpora a ideia de que um sistema pode integrar as funções necessárias para o engenheiro projetar e fabricar os produtos através das instalações e recursos de toda a organização.

A ideia por trás do conceito CIM é que o uso multifuncional de informações poderia reduzir a duplicação de esforços e de desperdícios e aumentar a produtividade - aspectos importantes do PLM. Porém, as tecnologias de computação disponíveis no momento de seu desenvolvimento não estavam à sua altura, de modo que CIM foi limitada na sua aplicação (GRIEVES, 2006).

Alguns autores afirmam que os atuais ambientes PLMs são simplesmente PDMs renomeados. Tal observação faz sentido apenas para quem analisa PLM do ponto de vista de suas funcionalidades envolvendo a engenharia do produto. No entanto, segundo Grieves (2006), o conceito de PLM atual é mais abrangente, passando a considerar todos os processos relacionados com a gestão do ciclo de vida completo do produto, incluindo sua concepção,

desenvolvimento e descarte. De acordo com este autor, o PDM constituiu um elemento fundamental para a criação dos sistemas do tipo PLM, mas estes últimos os substituíram.

Corroborando esta visão do conceito atual de PLM, Stark (2011) define-o como uma abordagem holística, relacionada não só com a engenharia do produto, mas também com a gestão da organização, envolvendo a infraestrutura empresarial, os métodos de trabalho, os processos, as pessoas, as bases de dados e os sistemas de informação. É um novo paradigma, uma nova forma de olhar o mundo de produtos que leva a novas oportunidades e novas maneiras de organizar os recursos para alcançar benefícios.

4.4. PLM Como Ferramenta de Apoio

Segundo Stark (2011), um ambiente PLM é composto por um grande número de sistemas de aplicação, que servem para apoiar a execução das tarefas nos diversos processos existentes. Tal como a maioria dos termos utilizados no ambiente de PLM, "aplicações" possui vários sinônimos, como por exemplo: programas de computador, ferramentas de T.I, sistemas, sistemas de informação, sistemas de tecnologia da informação (T.I), programas, pacotes de *software*, aplicações, ferramentas, programas aplicativos, *software* aplicativo, sistemas de computador.

Para Stark (2011), as aplicações PLM podem ser classificadas em duas espécies, quais sejam: aplicações genéricas e específicas. As genéricas são aplicáveis em todos os tipos produtos e usuários no âmbito das várias classes de empresas. Por exemplo, uma aplicação genérica, conforme Tabela 4.2, a ser utilizada por um engenheiro da indústria automobilística para a "Gestão de processos", será também utilizada por um gerente de projeto na indústria farmacêutica. Ambos possuem grande número de processos a serem gerenciados. Do mesmo modo, a "Gestão da colaboração" é aplicável em quaisquer situações nas quais pessoas em locais diferentes trabalhem em conjunto.

Tabela 4.2 – Aplicações PLM genéricas.

Gestão de processos
Gestão de projetos
Integração
Visualização
Gestão da colaboração
Gestão de documentos / Gestão de dados
Gestão de configuração / Gestão de partes / Gestão de produtos
Gestão de infraestrutura
Gestão de *design* do produto
Gestão de feedback do produto

Fonte: Stark (2011).

Todas as aplicações acima são necessárias para a maioria das atividades relacionadas ao produto. Isso não é o caso das aplicações específicas em um contexto particular, utilizadas por pessoas, departamentos ou funções particulares, conforme Tabela 4.3. A "Gestão de Portfólio de Produtos" possui uma funcionalidade específica que é necessária apenas por algumas áreas de uma empresa. Da mesma forma, a "Gestão colaborativa da definição do produto” terá funcionalidades específicas para as necessidades das áreas que definem o produto.

Tabela 4.3 – Aplicações PLM específicas.

Gestão de portfólio de produto
Gestão da geração de ideias
Gestão da especificação e requisitos
Gestão colaborativa da definição de produto
Gestão da manutenção
Gestão de propriedade intelectual
Gestão de segurança e saúde do ambiente

Fonte: Stark (2011).

Nenhuma aplicação de PLM pode ser considerada uma “ilha”, de modo a ser entendida isoladamente do resto da empresa. Elas estão integradas com outros componentes e são influenciadas por outras forças dentro e fora da empresa (STARK, 2011).

As aplicações PLM disponibilizam funcionalidades para apoiar os processos de negócio da empresa (ZANCUL, 2009), como mostra a Figura 4.3.

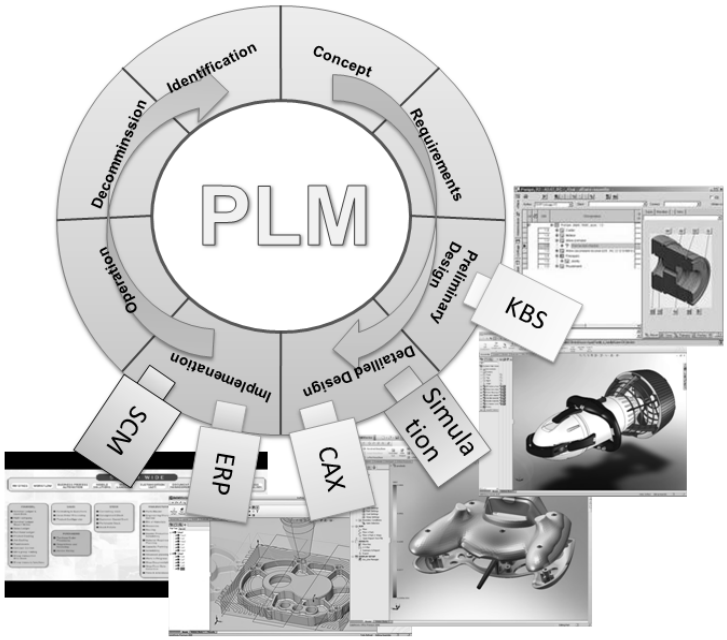
Figura 4.3 – Módulos e grupos de funcionalidades de PLM.

Módulos		Grupos de funcionalidades						
Planejamento e gestão dos produtos	Planejamento de produtos	Gestão do portfólio de produtos	Coleta, avaliação e seleção de idéias para novos produtos	Gestão de requisitos				
	Gestão de projetos	Planejamento de projetos	Controle de projetos	Gestão de múltiplos projetos				
	Controle de indicadores financeiros	Controle de indicadores financeiros de projetos	Cálculo do desempenho financeiro no ciclo de vida					
Gestão de dados centrais	Estruturação de produtos	Cadastro mestre de materiais	Classificação	Gestão da estrutura de produtos	Gestão de variantes	Configuração de produtos		
	Gestão da configuração	Gestão de versões, status e validades	Controle de aprovações	Gestão de mudanças	Mudanças de ordens produção	Controle da configuração		
	Gestão de documentos	Cadastro e armazenamento de documentos	Visualização de documentos	Publicação de documentação técnica	Arquivamento de documentos			
Geração de dados de produtos	Gestão da qualidade	Métodos de qualidade	Planejamento da qualidade	Controle da qualidade	Auditorias de qualidade			
	Gestão do meio ambiente e segurança do trabalho	Catálogo de materiais controlados	Acompanhamento de materiais controlados	Gestão de resíduos	Segurança do trabalho			
	Serviços e manutenção	Planejamento da manutenção	Execução da manutenção					
	Planejamento para a produção	Cadastro de recursos de produção	Planejamento do processo de produção	Planejamento da fábrica				
	Sourcing	Catálogo de componentes	Gestão de fornecedores	*eSourcing*				
Colaboração e gestão do conhecimento		Comunicação e trabalho em equipe	*Workflow*	Gestão do conhecimento	Controle de acesso aos dados			
Integração e gestão do sistema		Padrões de integração	Integração com CAD	Integração com ERP	Integração com PDM / PLM	Integração com gestão proj.	Gestão de usuários	Segurança de dados

Fonte: Zancul (2009).

Sistemas PLM podem ainda ser usados em conjunto com outros tipos de aplicativos de apoio à gestão de processos de negócios. Estas relações são apresentadas na Figura 4.4, na qual é possível ver sistemas como o *Computer-Aided Design* (CAD), *Computer-Aided Manufacturing* (CAM), *Enterprise Resource Planning* (ERP) e *Supply Chain Management* (SCM), dentre outros que asseguram a difusão, rastreabilidade, arquivamento e reutilização de informação relacionadas ao ciclo de vida do desenvolvimento do produto (DUIGOU; BERNARD; PERRY, 2011).

Figura 4.4 – Elementos da definição de PLM



Fonte: Duigou, Bernard e Perry (2011, p. 3).

O sistema de PLM, muitas vezes, cria uma grande totalidade das funções e propriedades para apoio aos diferentes processos envolvidos na criação, gravação, atualização, distribuição, utilização e recuperação de informações relacionadas ao desenvolvimento de um produto. Sistemas PLM comerciais normalmente têm muitas características em comum. Todos os sistemas contêm certas características, funções e técnicas, que são funcionalmente idênticos, independentemente do sistema.

4.5. PLM no Contexto de PMET-Org

No presente trabalho, os projetos desenvolvidos por instituições acadêmicas e por pequenas e médias empresas são chamados de pequeno ou médio empreendimentos transdisciplinares, e são executados por organizações que recebem a denominação genérica de PMET-Org.

Os projetos realizados pelas PMET-Org foram denominados neste trabalho como pequenos empreendimentos empresariais (PMET-Projs) e são caracterizados pela utilização de metodologias e técnicas de engenharia altamente avançadas, embora eles sejam de pequeno ou médio porte e de alta

complexidade. Por esta razão, eles apresentam desafios de gestão mais simplificados, que reduzem as necessidades de técnicas e ferramentas sofisticadas para a execução e gestão dos seus processos do ciclo de vida de engenharia concorrente de sistemas.

Soluções amigáveis e acessíveis que podem ser personalizadas e usadas para apoiar as PMET-Orgs na execução de seus projetos são difíceis de serem encontradas.

A interoperabilidade e modularidade são questões importantes em sistema tipo PLM (DUTTA; JAEKEL, 2005 apud (DUIGOU; BERNARD; PERRY, 2011). Os modelos de processos do ciclo de vida ajudam a apoiar essa interoperabilidade através da estruturação de informações que podem ser facilmente acessadas pelos diferentes atores envolvidos no desenvolvimento do produto.

Uma dificuldade principal reside na implementação destes modelos de processos, devido ao fato de que as PMET-Orgs têm de integrar as diferentes estruturas de informação dos seus clientes. Diferentes pesquisas (TERZI; EL KADIRI, 2009) mostram que as principais dificuldades para a implementação de um sistema PLM nas PMET-Orgs são:

a) A dificuldade de modelagem dos processos da empresa e da troca de informações. Não há competência suficiente para criação de modelos devido à dimensão crítica dos serviços internos dos sistemas de informação; e

b) A falta de interoperabilidade entre os diferentes sistemas de informação para uso interno (PLM, ERP, etc.) e externo da empresa (PLM de empresas parceiras).

Fornecer conceitos e métodos de modelagem adequados, que permitam a integração e estruturação de dados do produto de forma multidisciplinar são pontos principais para a aceitação da solução de PLM, em particular, nas PMET-Orgs (EIGNER; STELZER, 2009).

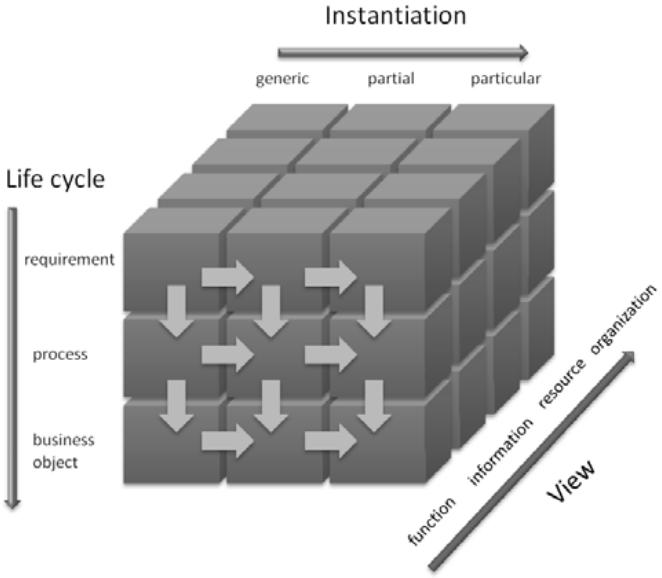
Isto implica a possibilidade de que os desenvolvimentos de projetos dessa natureza venham a ser conduzidos de forma muito amadora, levando ao fracasso do projeto em relação ao escopo, duração, custo e/ou má qualidade dos produtos que estão sendo construídos.

Nesta linha de PLM utilizando um *framework* genérico e voltado para aplicação a PMET-Orgs, embora sejam denominadas pequenas e médias empresas estendidas (X-SME, *extended Small and Medium Enterprises*), existe uma proposta bem similar à deste trabalho apresentada em Duigou, Bernard e Perry (2011), na qual é descrito um ambiente que faz uso também de um *framework* para modelagem de processos, visando facilitar a implementação de sistemas PLM para este tipo de empresa.

Inicialmente, Duigou, Bernard e Perry (2011) propõem um *framework* genérico para a criação de modelos multidisciplinares de processos, cobrindo todas as fases do ciclo de vida de desenvolvimento do produto. O *framework* descrito consiste na criação de modelos genéricos para uma rede estendida de pequenas e médias empresas (X-SME - *eXtended Small and Medium Enterprises*) e, numa segunda fase de refinamento, na adaptação destes para uma determinada empresa da rede ou para um departamento específico.

A demonstração do *framework* é feita pela criação de um modelo genérico para uma rede X-SMEs composta de três empresas do ramo de manufatura, atuando como fornecedoras de sistemas, componentes e partes, respectivamente, para as quais se deseja atender às necessidades de implantação de sistemas PLM, conforme descrito na Figura 4.5.

Figura 4.5 – *Framework* X-SME.



Fonte: Duigou, Bernard e Perry (2011, p. 8).

A abordagem começa com um passo indutivo a fim de formalizar o modelo genérico. A partir deste, gera-se modelos específicos adaptados ao negócio da empresa, mantendo-se a interoperabilidade com outras empresas que utilizam o mesmo modelo genérico como base do seu sistema de informação.

Os modelos especializados de processos são criados a partir das necessidades identificadas e dos processos genéricos correspondentes e, posteriormente, são modelados através de diagramas IDEF0.

O *Framework* X-SME e suas visões são apresentados na Figura 4.5. No item *Life cycle* estão representadas as necessidades, processos e objetos de negócios. Já no *Instantiation*, é representada a instanciação de componentes: os níveis de genéricos, parciais ou particulares. E, por último, o item *View* representa as diferentes visões do sistema: de função, de informação, de recursos e de organização. A dificuldade de formalizar os processos e criação de um modelo de dados para um sistema de PLM é reduzida pela pré-análise e seleção de objetos no *framework* proposto.

O *Framework* apresentado por Duigou, Bernard e Perry (2011) também poderia ser aplicado em um contexto de PMET-Orgs, visando resolver o problema de

integração e interoperabilidade envolvidas nas transações críticas de negócios de uma rede de empresas.

Após estudo realizado no *Framework* X-SME, um paralelo entre os eixos descritos – e com a visão a partir do *Framework* ENGESIS – foi traçado, conforme descrito na Tabela 4.4, apresentada a seguir.

Tabela 4.4 – Um paralelo entre os eixos X-SME e visão do ENGESIS.

PARALELO ENTRE ABORDAGENS	**E I X O S**			
	(ABCISSA) - LIFECYCLE	**(ORDENADA) - INSTANTIATION**	**(PROFUNDIDADE) - VIEW**	**AMBIENTE DE APOIO**
***Framework* X-SME**	Representa as necessidades, processos e objetos de negócios.	Representa a instanciação de componentes: níveis genéricos, parciais ou particulares.	Representa as diferentes visões do sistema: função, informação, recurso e organização.	Não definido
***Framework* ENGESIS**	Apresenta os conceitos relacionados ao tempo durante o ciclo de vida dos processos	Representado pela visão hierárquica das disciplinas que compõem o *framework*	Representa a visão da organização a partir de um modelo sistêmico	ENGESIS-PLM

Fonte: Produção do autor.

O *Framework* ENGESIS, utilizado neste trabalho como referência para desenvolvimento do ambiente de apoio ENGESIS-PLM, difere daquele apresentado por Duigou, Bernard e Perry (2011). Primeiramente, por considerar uma rede de empresas, enquanto no ENGESIS o método pode ser aplicado em uma única organização no desenvolvimento de um produto completo, considerando-se que este pode ser decomposto em sistemas, componentes e partes. Porém, o mais importante é que o *Framework* ENGESIS faz uso de disciplinas de forma autônoma e integrada, o que torna o ENGESIS-PLM uma concepção totalmente original, em relação à qual não foi encontrado qualquer paralelo na literatura.

4.6. Implementação de PLMs em PMET-Orgs

Um roteiro para implementação de um sistema PLM é uma dessas ferramentas que as empresas, especialmente as PMEs, poderiam utilizar em seu projeto de implementação de soluções PLM para cobrir a preparação e concepção e as fases de preparação de implementação. Dois exemplos de processos de roteiros são mostrados a seguir:

Um questionário sobre *framework* para PLM e questões sobre PLM desenvolvidos por Batenburg et al. (2006) têm sido aplicados a fim de definir um roteiro de PLM para as empresas. As fases do processo de roteiro de PLM de Batenburg incluem:

a) maturidade do PLM atual e alinhamento;

b) maturidade do parâmetro de referência (*Benchmark*);

c) maturidade desejada do PLM e alinhamento;

d) identificar os itens a serem melhorados; e

e) definir o roteiro do PLM.

Alternativamente, Schuh et al. (2008) propuseram um *framework* orientado a processo de PLM que pode ser aplicado para orientar a implementação de PLM em indústrias. Empresas com o objetivo de implementar PLM podem referir-se ao *framework* conceitual fornecido para estabelecer seu próprio *framework*, que vincula os elementos da empresa a um ambiente abrangente de PLM. Para tanto, os dez passos seguintes são necessários:

a) definir o objetivo da implementação do PLM: de acordo com a definição de PLM, as empresas podem identificar os pontos mais importantes para se concentrar;

b) analisar os fundamentos existentes de PLM: a capacidade da estrutura do produto atual para apoiar PLM deve ser analisada e, se necessário, aumentada;

c) posicionar os processos: os processos a serem implementados podem ser selecionados a partir da lista de processos PLM, considerando objetivos da empresa e os benefícios esperados;

d) identificar o nível de maturidade da empresa (como é o processo atualmente): compreende o mapeamento dos processos atuais da empresa (apenas para os processos previamente selecionados);

e) selecionar um modelo de referência apropriado: a partir do conjunto fornecido de modelos de referência, é possível identificar o tipo de processo que mais se adapta às características da empresa;

f) personalizar o modelo de referência: embora já estejam disponíveis os processos que têm como alvo diferentes tipos de empresa, estes ainda precisam ser refinados a fim de refletir as necessidades específicas de negócios;

g) especificar os requisitos para a seleção do sistema: o catálogo de requisitos de *software* do fornecedor, relacionado com os processos já configurados, fornece a especificação do sistema;

h) selecionar a solução de *software*: com base nos requisitos previamente definidos e considerando os perfis de *software* detalhados;

i) Definir o caminho de evolução e implementar a solução de *software*: as diferenças entre os processos – como são atualmente (*as-is*) e como serão no futuro (*to-be*) – permitem a definição de guias de implementação, incluindo as implementações necessárias para a solução do *software* selecionado; e

j) Capacitar os funcionários: a conexão da base de conhecimento para os processos indica a nova qualificação necessária e fornece o material e o contexto requisitado para o treinamento.

Essa abordagem de implementação em dez passos é derivada de modelos clássicos para a engenharia de processos (DAVENPORT, 2014), mas vai um passo além do PLM, que considera as necessidades e condições dessa área. Como resultado, é gerado um processo específico de vinculação entre a empresa, o *framework* PLM e a Tecnologia da Informação.

4.7. Um Estudo de Caso do Uso de PLM em PMET-Orgs

Em um artigo recente que aborda diretamente a questão do desenvolvimento e uso de sistemas PLMs em PMET-Orgs, Soto-Acosta et al. (2015) descrevem um estudo de caso de uma empresa espanhola denominada Pladomin, cujo objetivo principal é o de apresentar um exemplo de uma implementação bem sucedida de uma solução PLM desenvolvida em uma PME da indústria de transformação.

A Pladomin é uma PME espanhola com mais de 80 colaboradores e um volume de negócios anual de cerca de 10,6 milhões de euros. Nos últimos 40 anos, a Pladomin passou de uma pequena empresa para uma empresa de médio porte. Suas instalações estão localizadas em Santander (norte de Espanha), onde fabrica componentes em vários tipos de termoplásticos, utilizando diversas máquinas de injeção automatizadas e as mais avançadas técnicas de fabricação (injeção assistida a gás, injeção de biocomponente, injeção de vários componentes, etc.).

No atual ambiente de negócios, havia uma demanda crescente para desenvolver produtos mais complexos e, ao mesmo tempo, para encurtar seu tempo de colocação no mercado. Neste cenário, a excelência em qualidade, gestão de conhecimento e colaboração no *design* de produtos se tornaram uma demanda comum dos clientes da Pladomin. Como resultado, a solução PLM surgiu como um novo paradigma para o gerenciamento de informações ao

longo do ciclo de vida do produto, o que pode melhorar a eficiência dos processos internos e a colaboração com clientes e outras partes interessadas.

De acordo com Soto-Acosta et al. (2015), tendo em vista a necessidade de implementar um ambiente PLM, a Pladomin analisou as características do *software* PLM comercial oferecido pela Siemens, Oracle, SAP, Autodesk e ZUKEN, entre outros. Depois de comparar as diferentes opções, a empresa identificou algumas das vantagens mais citadas nestes *softwares*: melhoria na qualidade do produto; menor tempo para lançar a documentação necessária; responsabilidade ambiental (menos papel); bancos de dados centralizados; melhores processos internos; redução do tempo de colocação do produto no mercado.

No entanto, eles notaram que a integração do PLM com o sistema CAD da empresa era uma questão importante que não poderia ser resolvida com o uso do *software* PLM comercial. Outra inconveniência foi que o custo mínimo de implementação do *software* é de cerca de 120.000 euros, com custos anuais de cerca de 30.000 euros aproximadamente. Além do custo do *software*, a empresa estimou que seria necessário incorrer em cerca de 40.000 euros em custos devido à falta de apoio para integração de dados.

Por isso, decidiram desenvolver e implementar uma solução PLM interna, a fim de resolver o problema de integração de dados com eficiência, sem comprometer os recursos financeiros da empresa.

Para documentar a decisão adotada, formaram uma equipe de especialistas em Tecnologia da Informação (TI), responsável por: (a) analisar as diferentes soluções PLM disponíveis no mercado; e (b) identificar os principais benefícios e desafios decorrentes da adoção do PLM nas PMEs.

Segundo Soto-Acosta et al. (2015), os benefícios do PLM são principalmente intangíveis e geralmente se traduzem em redução do tempo de colocação de produtos no mercado. Os benefícios identificados a partir da introdução da tecnologia PLM pela Pladomin foram descritos da seguinte forma:

a) As empresas podem se beneficiar do PLM através do intercâmbio rápido e fácil de documentos e conhecimentos especializados, difusão simultânea, controle em tempo real, melhoria da comunicação e acessibilidade das informações relacionadas com produtos.

b) A equipe de especialistas em TI concluiu que, embora a adoção de um *software* PLM comercial possa ser a maneira mais fácil de se beneficiar das vantagens do PLM, a solução adotada pode não funcionar corretamente, a menos que sejam feitos investimentos adicionais em customizações. Com base na pesquisa de mercado, eles identificaram as limitações que o *software* PLM comercial pode ter e decidiram desenvolver internamente uma solução PLM. Juntamente com considerações financeiras, a Pladomin justificou esta decisão com base nos requisitos internos, requisitos do cliente e estratégia da empresa: novos clientes potenciais, novos mercados, novos processos e novas exigências tecnológicas.

c) No processo de implementação de uma solução PLM na empresa, as mudanças acontecem no nível de TI, em nível estratégico, nível de processo e, mais especificamente, no nível das habilidades e capacidades individuais dos funcionários.

d) Finalmente, a adoção da solução PLM na Pladomin melhorou o fluxo de informações dentro da empresa e entre ela e seus participantes externos envolvidos na concepção e desenvolvimento de produtos. Ao mesmo tempo, a Pladomin conseguiu melhorar o atendimento ao cliente e a manutenção com base no conhecimento acumulado sobre o produto.

4.8. Conclusões sobre soluções PLM para PMET-Orgs

De acordo com Soto-Acosta et al. (2015), baseando-se no caso Pladomin, a conclusão é que uma solução PLM pode ser vista como uma plataforma colaborativa, que pode responder a uma demanda crescente de acesso e intercâmbio de altos níveis de informação, aumentando, assim, o aprendizado organizacional.

Embora haja uma ampla oferta de *software* PLM disponível no mercado, a falta de interoperatividade com outros sistemas de informação ainda é uma questão comum com a qual as empresas devem lidar. Outro desafio importante é concernente aos limitados recursos financeiros das PME, o que dificulta o seu acesso a este dispendioso *software*. Além disso, a adoção de *software* PLM comercial pode introduzir mudanças significativas nas rotinas e processos das empresas.

O caso Pladomin ilustra que a implementação de uma solução PLM desenvolvida internamente constitui-se numa boa alternativa à implantação de sistemas comerciais, utilizando uma abordagem customizada orientada à informação, que permite às empresas controlarem todo o ciclo de vida do produto. No entanto, planejar e gerenciar o processo de mudança continua sendo um elemento fundamental para o sucesso da implantação da solução PLM escolhida.

Para Soto-Acosta et al. (2015), com base nos resultados deste estudo de caso, podemos extrair várias conclusões:

O caso da Pladomin destaca a importância de se documentar a seleção do sistema PLM. Existem muitos tipos de *software* PLM no mercado e eles parecem ser fáceis de adotar e usar. A resistência à mudança pode ser um desafio importante que pode comprometer a eficácia do *software*. Falhas na implementação de soluções PLM são devido à incompatibilidade entre o *software* selecionado e a filosofia da empresa. Para evitar esse tipo de

problema, a escolha da solução PLM deve ser precedida de uma análise extensiva dos processos de negócio da organização.

Este caso prático mostra o papel crucial dos funcionários no sucesso da implementação do PLM. Uma solução PLM é um projeto de vários níveis, que exige comprometimento dos funcionários em todos os níveis hierárquicos. Nesse sentido, um alto envolvimento da alta gerência cria uma atmosfera ótima para a aceitação e uso da solução.

Finalmente, a principal conclusão pode ser que uma solução PLM desenvolvida internamente pode gerar os mesmos benefícios que um PLM comercial. Mesmo que o PLM comercial possa ser uma boa escolha para a maioria das empresas, questões específicas como a integração com outros sistemas podem questionar a eficácia do sistema. Os resultados obtidos pela Pladomin revelam os fatores críticos que afetam o sucesso de uma solução PLM desenvolvida para PMEs.

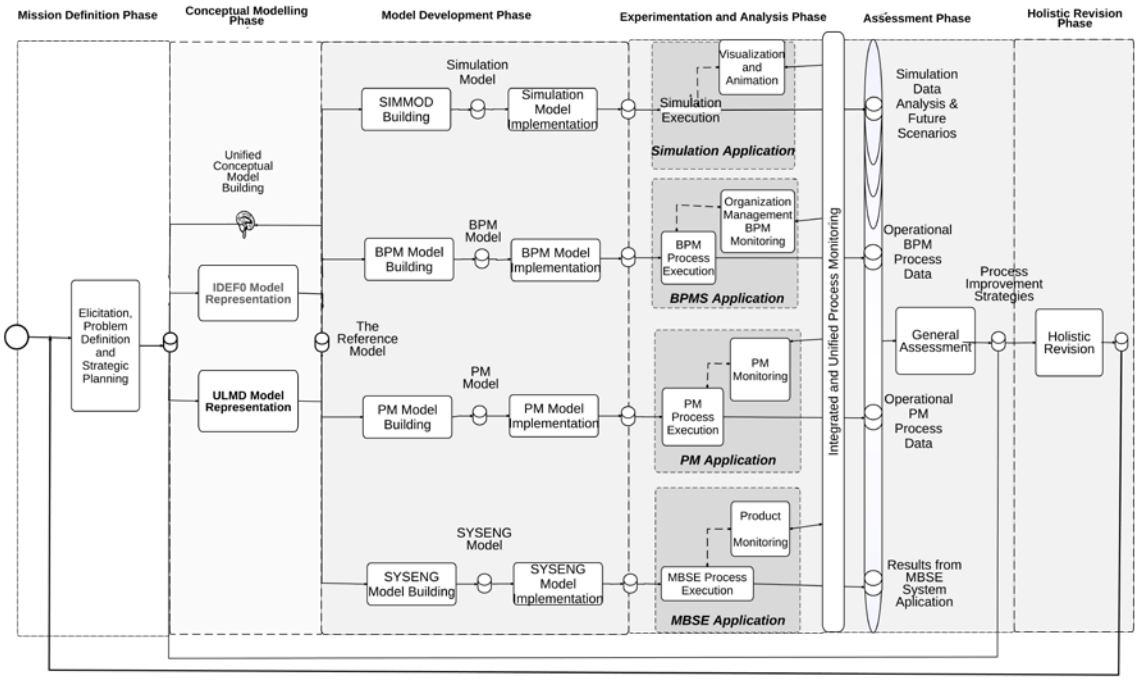
5 O PROJETO DO AMBIENTE ENGESIS-PLM DE APOIO

Este capítulo descreve a forma pela qual a metodologia CT^{2}P foi utilizada como base para a concepção, o projeto e a implementação final do ambiente PLM de apoio ao *Framework* ENGESIS, tendo-se preservado o histórico da evolução do projeto da forma como ele foi sendo executado ao longo do trabalho.

5.1. Arquitetura do *Framework* CT^{2}P

A arquitetura do *Framework* CT^{2}P apresentada na Figura 5.1 mostra a integração e unificação dos conceitos e ferramentas originários das disciplinas de SE, PM, BPM e SIM. Nessa visão, as ferramentas que apoiam as diversas disciplinas são utilizadas de forma individual, sem qualquer tipo de integração. Dessa forma, os modelos a serem desenvolvidos em cada fase do *framework* são criados de modo manual, separadamente, gerando um alto volume de trabalho e possíveis inconsistências entre os diversos modelos especializados.

Figura 5.1 – *Framework* CT²P.



Fonte: Kienbaum (2015).

O *framework* CT^2P, originalmente proposto em Kienbaum (2015), foi utilizado como a principal base de referência para o projeto e implementação de um ambiente PLM genérico para seu suporte, que é o objeto principal deste trabalho.

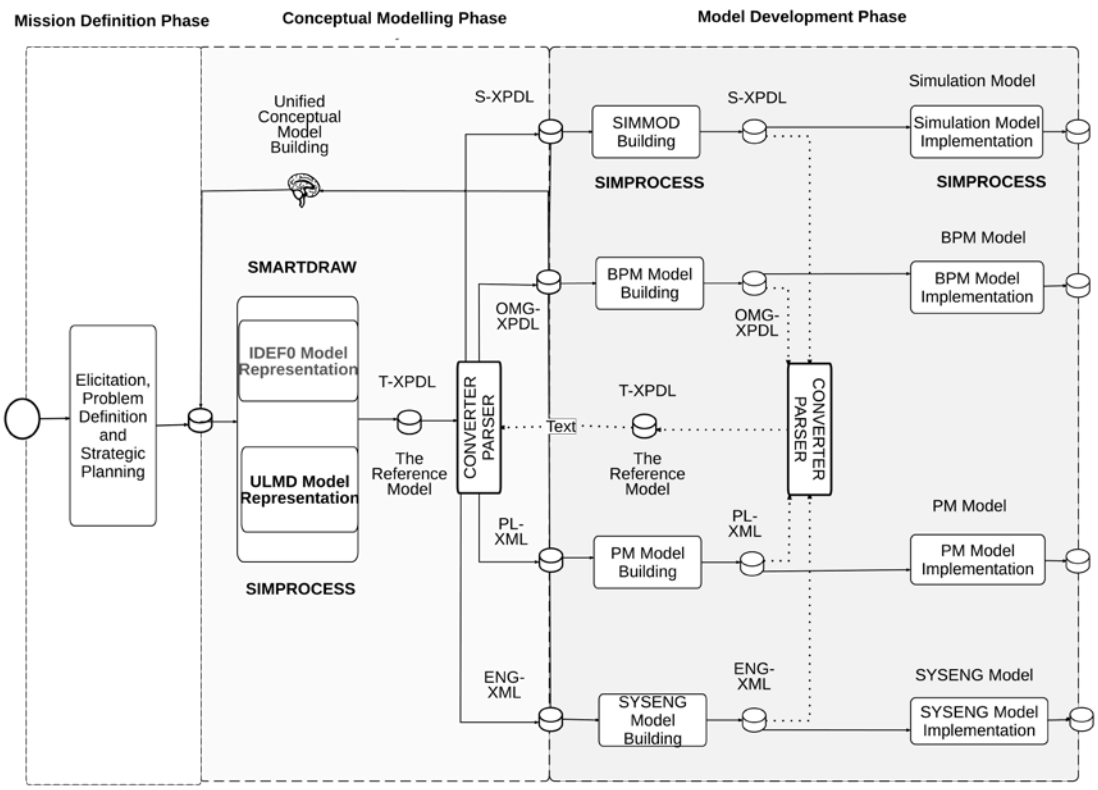
5.2. Arquitetura de um PLM Genérico para CT^2P

O uso integrado de aplicativos provenientes de cada uma das áreas individuais de estudo mencionadas e a análise conjunta de seus resultados podem servir como base para a criação de um tipo genérico de PLM de apoio à aplicação do *Framework* CT^2P, que pode ser denominado, em geral, de CT^2P-PLM.

Um conjunto de modelos especializados, com seus aplicativos de apoio, é definido como um CT^2P-PLM se as ferramentas de *software* utilizadas possuírem todas as funcionalidades associadas às quatro disciplinas componentes de CT^2P para permitir a gestão dos processos do ciclo de vida da engenharia concorrente de sistemas de acordo com suas metodologias e técnicas.

A arquitetura geral de um CT^2P-PLM corresponde à representação gráfica estruturada de alguns elementos, conforme mostrado na Figura 5.2.

Figura 5.2 – Arquitetura de um ambiente CT^{2}P-PLM



Fonte: Kienbaum (2016).

O eixo horizontal representa a evolução dos modelos de processos ao longo do ciclo de vida. O eixo vertical é empregado para exibir separadamente as camadas que representam as diversas disciplinas, com suas diferentes técnicas e ferramentas de apoio.

Os retângulos correspondem aos processos de engenharia, ou seja, às transformações realizadas para a evolução do produto ao longo do seu ciclo de vida. Os ícones arredondados correspondem aos repositórios de dados de algum tipo – modelos completos, objetos ou artefatos de diversas naturezas – que são transformados gradualmente em outros tipos de objetos ao longo do ciclo de vida completo dos modelos especializados de processo.

Os processos são apoiados pelo uso de diversas ferramentas específicas, que são utilizadas na forma de um conjunto de componentes interoperáveis, atuando como um ambiente PLM genérico para apoio à aplicação do *framework* CT^{2}P, em cada estudo de caso.

O ambiente CT^{2}P-PLM é formado pela integração das ferramentas utilizadas nas tarefas B1 e C1 da atividade de modelagem de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos; nas tarefas B2 e C2 da atividade de modelagem da Gerência de Projetos; nas tarefas B3 e C3 da modelagem da Gestão de Processos de Negócios; e também nas tarefas B4 e C4 da modelagem de Simulação.

Os aplicativos de cada disciplina desempenham um papel complementar devido ao fato de que todas elas fazem uso do mesmo modelo de referência. Adotam, também, uma abordagem sistemática para a implementação dos modelos especializados de processos nele baseados.

A componente principal da arquitetura de um CT^{2}P-PLM é constituída por um editor gráfico, que é usado para criar o modelo de referência que será salvo usando padrões consagrados, como, por exemplo, o XPDL (XML *Process Definition Language*), que poderá ser importado por diversas outras ferramentas para implementação dos modelos especializados. Este papel é desempenhado pela ferramenta SIMPROCESS® (2015), que é capaz de importar e exportar modelos que utilizam diversos formatos padrões entre os mencionados acima.

O XPDL consiste em um formato padrão XML desenvolvido pela W*orkflow Management Coalition* (WfMC), que permite a transferência de modelos de processos entre diversas ferramentas distintas, visando a garantir a interoperabilidade de processos. Muitos fabricantes se utilizam deste padrão para permitir a importação e exportação de modelos por suas ferramentas mesmo quando elas adotam formas de representação proprietárias.

Um pacote XPDL corresponde a uma coleção de diagramas de processo e colaboração e consiste em um conjunto de definições de processo, declarações e outras construções de nível de pacote, como artefatos e fluxo de mensagens entre processos. Em um pacote XPDL pode conter vários processos e troca de mensagens entre qualquer subconjunto deles.

O XPDL forma um padrão de intercâmbio comum que permite que os produtos continuem a suportar representações internas de definições de processo com uma função de importação / exportação entres diversos fornecedores de aplicativos (WFMC, 2005).

O arquivo de referência criado pelo editor gráfico e exportado para o formato XPDL é composto por diversos elementos próprios do editor, que não conseguem ser entendidos pelas outras ferramentas utilizadas no modelo. Desta forma, como a integração direta entre os modelos não seria possível, surge a necessidade de se definir um módulo conversor, que seja capaz de analisar o modelo XPDL gerado e, a partir do resultado dessa análise, criar arquivos no formato XPDL aderente às especificações da WfMC. O mesmo ocorre com outros formatos abertos de comunicação desejados, como o XML e o CSV.

Os arquivos CSV são em formato de texto, separados por vírgulas, que fazem uma ordenação de *bytes*, utilizados para conversão de dados entre diversos aplicativos como, por exemplo, planilhas eletrônicas (SHAFRANOVICH, 2005).

Todos os arquivos gerados nos respectivos formatos são compostos apenas por elementos fundamentais do modelo de referência (tais como tarefas, recursos, dependência entre tarefas, entre outros), e podem ser lidos e interpretados de forma direta pelas ferramentas utilizadas no *framework* para criação dos modelos individuais especializados.

Por meio da importação do modelo de referência no formato específico de cada ferramenta, o modelo especializado poderá ser ajustado e refinado de acordo com a necessidade de cada área individual. Após este refinamento, o modelo passará por uma nova análise do conversor, verificando a sua aderência ao modelo de referência. Se forem identificadas inconsistências, o ciclo de exportação do modelo de referência pelo conversor nos diversos formatos XPDL, XML, CSV será realizado novamente, com a respectiva leitura e ajustes pelas ferramentas especializadas em sucessivas iterações, até que os modelos especializados estejam totalmente aderentes ao modelo de referência. Esses

processos garantem, assim, a consistência de todos os modelos especializados com os seus devidos ajustes ao modelo de referência.

Em uma próxima etapa, o CT^2P-PLM deverá prover mecanismos para que os modelos especializados criados acima possam ser lidos por ferramentas capazes de executar estes modelos em um ambiente de produção, como, por exemplo, ferramentas de gerenciamento de projetos, gestão de processos e simulação.

A sistemática para aplicação de um CT^2P-PLM em um estudo de caso segue os procedimentos da metodologia CT^2P, descritos no capítulo 2, correspondentes à implementação de suas fases da modelagem.

5.3. Arquitetura do Ambiente ENGESIS-PLM

A denominação ENGESIS-PLM é utilizada neste trabalho para designar o ambiente computacional PLM de apoio ao *framework* ENGESIS; é feita para diferenciá-lo em relação a ambientes CT^2P-PLM genéricos para apoio à Ciência e Tecnologia Transdisciplinares de Processos, conforme apresentado anteriormente na Figura 5.2

O ENGESIS-PLM corresponde a uma especialização do CT^2P-PLM, composta pela integração das seguintes ferramentas, utilizadas de forma independente para as disciplinas de Gerenciamento de Projetos (GP), Gestão de Processos de Negócios (GPN), Modelagem e Simulação de Sistemas (SIM):

a) Um aplicativo gráfico para criação dos modelos de RTP SmartDraw® (2016);

b) Uma ferramenta gráfica de modelagem hierárquica, que combina modelagem de processos e simulação denominada Simprocess® (2016);

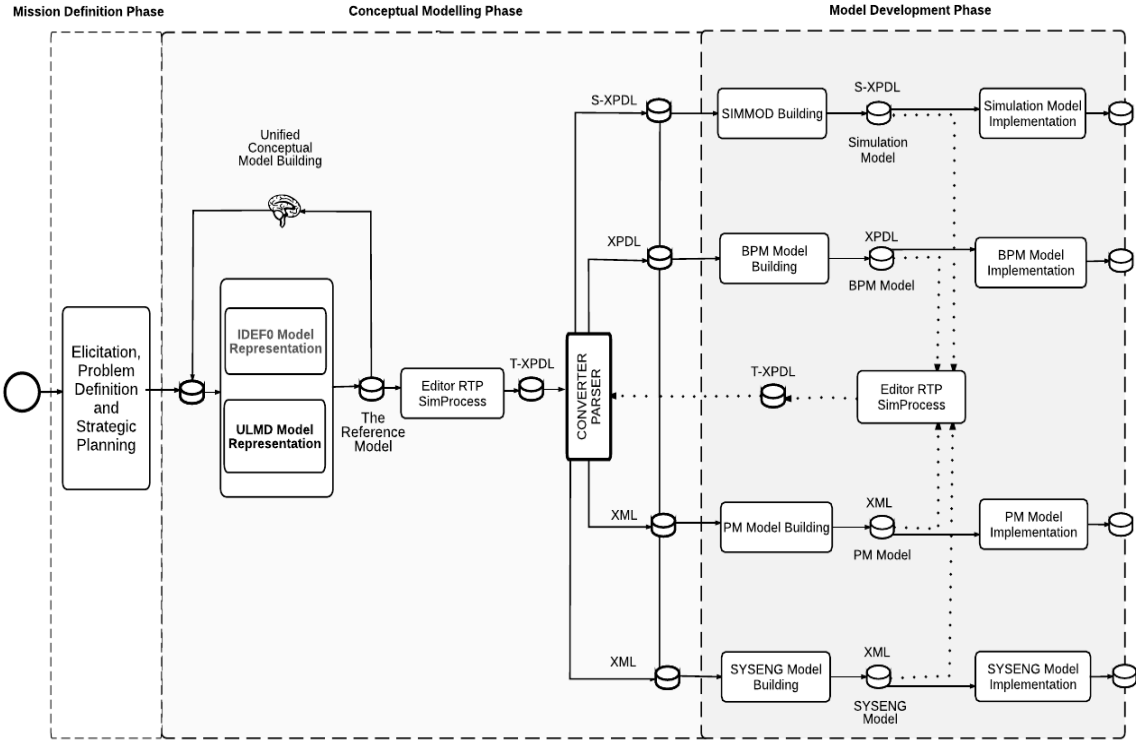
c) Um ambiente computacional na *Web*, de código livre, para gerenciamento de projetos nomeado dotProject® (2016), com módulo

adicional para importação e exportação de arquivos em padrão XML desenvolvido pelo autor;

d) Uma ferramenta para mapeamento, automação e gestão do ciclo de vida de processos de negócio, chamada Bizagi® Suite (2016);

e) Um conversor de modelos gráficos RTP para padrões abertos de comunicação entre sistemas (XPDL, XML, CSV), designado Jet-Conversor, desenvolvido pelo autor.

Figura 5.3 – Arquitetura do ambiente ENGESIS-PLM



Fonte: Kienbaum (2016).

A integração entre as diversas ferramentas se dá por meio da importação dos arquivos criados pelo Jet-Conversor em seus respectivos formatos abertos, provendo a interoperabilidade entre os sistemas que compõem o ambiente ENGESIS-PLM. Neste ambiente especializado, o conversor foi desenvolvido para atender apenas à primeira etapa de conversão dos modelos, conforme sugerida em CT^{2}P-PLM. Na segunda etapa, em que acontece a validação dos

modelos ajustados pelas áreas individuais em verificação, a aderência ao modelo de referência não foi implementada, conforme apresentado na figura 5.3.

O aplicativo Jet-Conversor foi desenvolvido para converter os arquivos T-XPDL, criados pelo RTP GUI Simprocess, em arquivos padrão XPDL 2.2 e em padrões abertos XML e CVS, de modo a suprir a deficiência existente na integração direta entre as ferramentas individuais.

A ferramenta dotProject foi utilizada no desenvolvimento do ambiente por ter o seu código-fonte aberto, possibilitando adicionar novos módulos, e por ser executada em ambiente totalmente *webs*. Para realizar o papel de gerenciamento de projetos de forma integrada, dentro do ambiente ENGESIS-PLM, um módulo de extensão para leitura e exportação de arquivos XML foi desenvolvido e adicionado ao dotProject pelo autor.

Para apoiar a gestão de processos, que forma o núcleo central de um ambiente PLM, foi utilizado o *software* BIZAGI Suite, por ser uma ferramenta que permite a utilização completa de todas as funcionalidades disponíveis, totalmente sem custo para até 20 usuários, e por ser de fácil integração com outros sistemas. A implementação do modelo de gestão com algumas das suas principais características foi desenvolvida pelo autor.

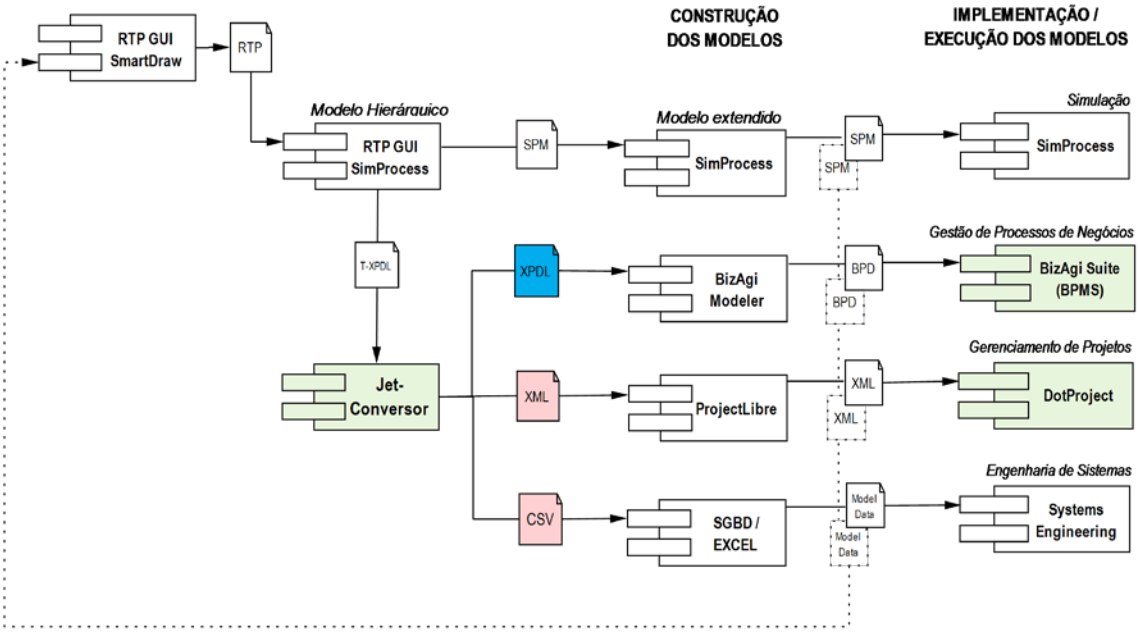
As ferramentas dotProject e BIZAGI Suite foram utilizadas neste trabalho para criação de um modelo PLM genérico utilizando ferramentas de baixo custo ou código aberto e de fácil utilização por parte dos usuários. O elemento principal do trabalho se baseia no desenvolvimento do Jet-Conversor, pois uma vez que o modelo de referência seja exportado em arquivos com formatos abertos de comunicação entre sistemas como (XML, CSV, XPDL), as ferramentas podem ser substituídas, a qualquer momento, de acordo com as necessidades e restrições estabelecidas pelos contextos de aplicação.

O subitem seguinte descreve, de forma geral, a concepção final do ambiente de apoio ENGESIS-PLM, com os seus respectivos módulos componentes, conforme apresentado na Figura 5.3 e detalhado na Figura 5.4.

5.4. Concepção do Ambiente ENGESIS-PLM

O formato final detalhado da concepção do ambiente de apoio ENGESIS-PLM, com os seus respectivos módulos componentes especializados, encontra-se representado na Figura 5.4.

Figura 5.4 – Concepção do ambiente ENGESIS-PLM.



Fonte: Produção do autor.

De acordo com Sommerville (2007), os requisitos de um sistema são descrições dos serviços fornecidos, suas restrições operacionais e refletem as necessidades de ajuda aos clientes na solução de algum problema, por exemplo, converter arquivos em formatos diferentes daquele originalmente encontrado.

Os requisitos do sistema são frequentemente classificados em dois tipos, quais sejam:

a) Requisitos funcionais: são as declarações de serviços que o sistema deve prover, como o sistema deve reagir a entradas específicas e como deve se comportar em determinadas situações. Em alguns casos, os requisitos funcionais podem também estabelecer explicitamente o que o sistema não deve fazer;

b) Requisitos não funcionais: são restrições sobre os serviços ou as funções oferecidas pelo sistema. Eles incluem restrições sobre o processo de desenvolvimento e padrões. Os requisitos não funcionais aplicam-se frequentemente ao sistema como um todo. Em geral, eles não se aplicam às características ou serviços individuais do sistema.

A seguir serão descritos os principais requisitos não funcionais do ambiente ENGESIS-PLM e os requisitos funcionais serão restritos apenas ao aplicativo Jet-Conversor e módulo de extensão da ferramenta dotProject, ambos desenvolvidos pelo autor, conforme apresentado na seção da Arquitetura do ambiente ENGESIS-PLM.

5.4.1. Requisitos do Ambiente ENGESIS-PLM

Para definição dos requisitos, foi imprescindível um estudo para entendimento do domínio da aplicação, compreendendo as áreas de conhecimento, gestão de processos de negócios e gerenciamento de projetos, o ambiente dotProject para gerenciamento de projetos, o ambiente BIZAGI Suite para gestão de processos, os padrões de referência WfMC para transferência entre modelos de processos e padrões abertos de comunicação para troca de informações entre sistemas de características distintas. Com o objetivo de fornecer aos usuários um ambiente integrado, capaz de prover a interoperabilidade entre ferramentas atuais, utilizadas em suas respectivas áreas de conhecimento de forma individual e sem integração direta, os principais requisitos para conduzir o projeto do ENGESIS-PLM foram assim estabelecidos:

a) Utilizar ferramentas de código aberto, baixo custo, licenças livres ou acadêmicas para pesquisa (dotProject, BIZAgi Suite, SimProcess, SmartDraw, C#);

b) Permitir a conversão dos modelos de processos RTP para arquivos em formatos de padrões abertos de comunicação, possibilitando a integração e a interoperabilidade entre as ferramentas autônomas;

c) Fazer uso de ferramentas que possibilitem executar, por meio de um *browser web*, os aplicativos criados, permitindo a utilização do ambiente por usuários distribuídos geograficamente (dotProject, BIZAGI);

d) Permitir a execução e o gerenciamento dos modelos de processos RTP integrados pelo ambiente, através de interfaces amigáveis aos usuários;

e) Prover funcionalidades para a gestão dos projetos a serem executados pelo ambiente, através de gráficos, relatórios, acompanhamento do percentual de execução das tarefas, início e fim das atividades, gestão de informações do projeto etc.

Em síntese, as principais características do ambiente ENGESIS-PLM podem ser consolidadas nas seguintes funcionalidades: a) permitir a conversão dos modelos de processos RTP em arquivos com formatos abertos de comunicação (XPDL, CSV, XML), possibilitando a leitura por ferramentas de características distintas, de modo a garantir a integração e a interoperabilidade entre sistemas; b) prover uma interface para leitura/exportação do modelo de processos RTP por meio de arquivos no formato XML, que será integrada ao sistema dotProject, permitindo a execução e o gerenciamento do projeto com base nas informações do modelo de referência; e c) permitir a execução, monitoramento e controle do modelo hierárquico de processos criado a partir do modelo de processos RTP, por meio da ferramenta BIZAGI Suite.

Essas funcionalidades são descritas com seus respectivos requisitos funcionais no subitem a seguir.

Requisitos Funcionais

RF1 – Converter arquivos RTP para o formato aberto XPDL

O aplicativo deve prover ao ambiente uma funcionalidade que permita a leitura de arquivos no formato modelo de processos RTP (T-XPDL), e, a partir do arquivo lido, criar um novo arquivo com os ajustes necessários e adequados aos padrões de referência WfMC no formato XPDL, possibilitando assim a importação do arquivo criado por ferramentas de modelagem gráfica de processos no padrão BPMN (OMG, 2011).

RF2 – Converter arquivos RTP para o formato aberto XML

O aplicativo deve prover ao ambiente uma funcionalidade que permita a leitura de arquivos no formato modelo de processos RTP (T-XPDL), e, a partir deste arquivo lido, gerar um novo arquivo com os ajustes necessários e adequados aos padrões de referência W3C no formato *Extensible Markup Language* (XML), possibilitando desse modo a importação do arquivo criado por ferramentas de gerenciamento de projetos capazes de ler arquivos no padrão XML, por exemplo, a ferramenta ProjectLibre, componente do ambiente ENGESIS-PLM.

RF3 – Converter arquivos RTP para o formato aberto CSV

O aplicativo deve prover ao ambiente uma funcionalidade que permita a leitura de arquivos no formato modelo de processos RTP (T-XPDL), e, a partir deste arquivo lido, gerar um novo arquivo com os ajustes necessários e adequados aos padrões de referência W3C no formato Comma-separated values (CSV), possibilitando a importação do arquivo criado por ferramentas de planilhas eletrônicas e SGBD (Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados) capazes de ler arquivos no padrão CSV.

RF4 – Importar dados no formato XML para o sistema dotProject

Prover uma funcionalidade adicional ao sistema gerenciamento de projetos dotProject, componente do ambiente ENGESIS-PLM, que permitirá a

importação de arquivos no formato XML, possibilitando a gestão do projeto incorporado pelo sistema de forma automatizada.

A funcionalidade deverá permitir a leitura e validação do arquivo no formato XML, que passará por um processamento em que serão varridas todas as suas *tags*, aplicando análises e validações no conteúdo das tarefas, recursos e dependências, adicionando-as nas respectivas tabelas do sistema dotProject, e assim, permitindo a visualização e acompanhamento do projeto de forma automática pelos usuários liberados.

RF5 – Exportar dados do sistema dotProject para o formato XML

A funcionalidade deverá permitir que as informações do projeto, como tarefas, recursos e dependências, possam ser exportadas para arquivos no formato XML, que possibilitará a visualização por ferramentas de gerenciamento de projetos capazes de entender o padrão XML, por exemplo, a ferramenta ProjectLibre.

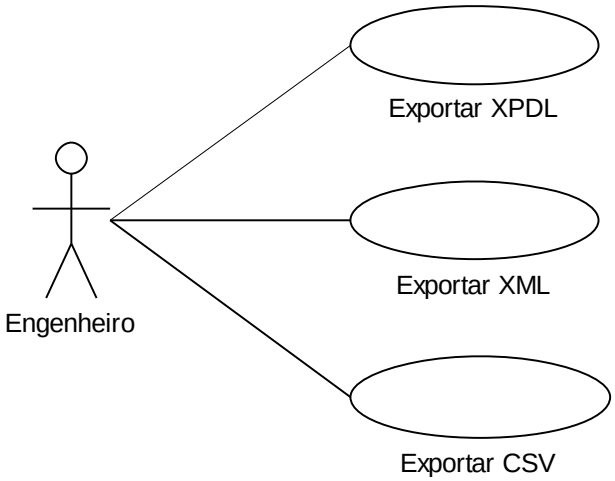
Visão de Casos de Uso

Segundo (COCKBURN, 2001), um caso de uso captura um contrato entre *stakeholders* de um sistema sobre seu comportamento. Ele descreve o comportamento do sistema sob diversas condições, conforme o sistema responde a uma requisição de um *stakeholders*, chamado ator primário, que inicia uma iteração com o sistema para atingir algum objetivo.

De acordo com Paula Filho (2009), na modelagem dos requisitos funcionais, os casos de uso representam as funções específicas, enquanto os atores representam os usuários e outros sistemas que interagem com o sistema. Visões mais abstratas das funções do sistema são representadas por diagramas de casos de uso, que especificam o relacionamento e a comunicação entre casos de uso e atores.

A Figura 5.5 apresenta o diagrama de casos de uso com as funcionalidades do Jet-Conversor e sua comunicação com o engenheiro do sistema.

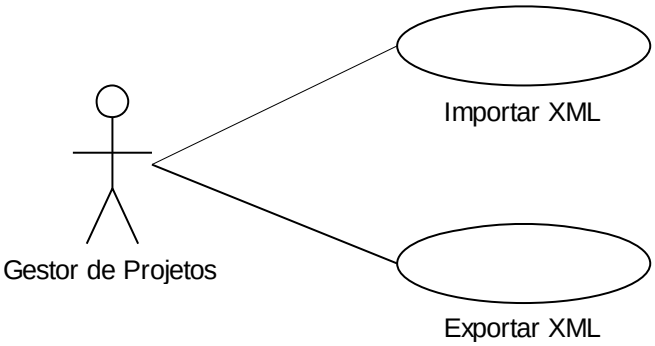
Figura 5.5 – Diagrama de casos de uso Jet-Conversor.



Fonte: Produção do autor.

A Figura 5.6 apresenta o diagrama de casos de uso com as funcionalidades do módulo adicional a ser incorporado ao sistema dotProject e sua comunicação com o gerente de projetos.

Figura 5.6 – Diagrama de casos de uso módulo adicional dotProject.



Fonte: Produção do autor.

Detalhes dos casos de uso são apresentados por seus diversos fluxos de eventos, que representam ações elementares dos atores e do sistema, assim como as precondições e pós-condições dos casos de uso que resultam da execução das funções. (PAULA FILHO, 2009).

CDU1 – Converter arquivos RTP para o formato aberto XPDL

Este caso de uso é responsável pela conversão de arquivos em formato original RTP para formato XPDL, possibilitando a importação do arquivo

convertido por ferramentas de modelagem gráfica de processos que utilizem o padrão BPMN.

Tabela 5.1 – Fluxo de eventos CDU1.

Fluxo principal	
Requisitos referenciados	RF1
Atores	Engenheiro
Evento iniciador	Usuário acessa o sistema Jet-Conversor.
Precondição	Um arquivo origem RTP no formato XPDL e um local para armazenar o arquivo destino devem ser selecionados.
Sequência de eventos	1. Usuário seleciona no menu a opção “Exportar p/ XPDL 2.2”; 2. Sistema valida as informações selecionadas; 3. Sistema efetua a conversão de arquivo origem RTP XPDL para formato XPDL 2.2; 4. Sistema envia mensagem de tarefa concluída ao usuário.
Pós-condição	Arquivo convertido armazenado no destino selecionado pelo usuário.
	Fluxo alternativo
Caminhos alternativos e de exceção	**ERRO** Se houver divergências na análise, durante a conversão do arquivo para o padrão XPDL 2.2, será exibida uma mensagem de erro. Assim, os dados não serão gravados e, dessa forma, o arquivo destino não será gerado; Erro relacionado ao arquivo origem RTP XPDL não selecionado: sistema informa que a operação não pôde ser efetuada.

Fonte: Produção do autor.

CDU2 – Converter arquivos RTP para o formato aberto XML

Este caso de uso é responsável pela conversão de arquivos em formato RTP para o formato XML, possibilitando a importação do arquivo convertido por ferramentas de gerenciamento de projetos capazes de ler arquivos no padrão XML.

Tabela 5.2 – Fluxo de eventos CDU2.

Fluxo principal	
Requisitos referenciados	RF2
Atores	Engenheiro
Evento iniciador	Usuário acessa o sistema Jet-Conversor.
Precondição	Um arquivo origem RTP no formato XPDL e um local para armazenar o arquivo destino devem ser selecionados.
Sequência de eventos	1. Usuário seleciona no menu a opção “Exportar p/ XML”; 2. Sistema valida as informações selecionadas; 3. Sistema efetua a conversão de arquivo origem RTP XPDL para formato XML; 4. Sistema envia mensagem de tarefa concluída ao usuário.
Pós-condição	Arquivo convertido armazenado no destino selecionado pelo usuário.
	Fluxo alternativo
Caminhos alternativos e de exceção	**ERRO** 1. Se houver divergências na análise, durante a conversão do arquivo para o padrão XML, será exibida uma mensagem de erro. Assim, os dados não serão gravados e, dessa forma, o arquivo destino não será gerado; 2. Erro relacionado ao arquivo origem RTP XPDL não selecionado: sistema informa que a operação não pôde ser efetuada.

Fonte: Produção do autor.

CDU3 – Converter arquivos RTP para o formato aberto CSV

Este caso de uso é responsável pela conversão de arquivos em formato RTP para arquivo no formato no formato CSV, possibilitando a importação do arquivo criado por ferramentas de planilhas eletrônicas e SGBD.

Tabela 5.3 – Fluxo de eventos CDU3.

Fluxo principal	
Requisitos referenciados	RF3
Atores	Engenheiro
Evento iniciador	Usuário acessa o sistema Jet-Conversor.
Precondição	Um arquivo origem RTP no formato XPDL e um local para armazenar o arquivo destino dever ser selecionados.
Sequência de eventos	1. Usuário seleciona no menu a opção “Exportar p/ CSV”; 2. Sistema valida as informações selecionadas; 3. Sistema efetua a conversão de arquivo origem RTP XPDL para formato XML; 4. Sistema envia mensagem de tarefa concluída ao usuário.
Pós-condição	Arquivo convertido armazenado no destino selecionado pelo usuário.
	Fluxo alternativo
Caminhos alternativos e de exceção	**ERRO** 1. Se houver divergências na análise, durante a conversão do arquivo para o padrão CSV, será exibida uma mensagem de erro. Assim, os dados não serão gravados e, dessa forma, o arquivo destino não será gerado; 2. Erro relacionado ao arquivo origem RTP XPDL não selecionado: sistema informa que a operação não pôde ser efetuada.

Fonte: Produção do autor.

CDU4 – Importar dados no formato XML para o sistema dotProject

Este caso de uso cria uma funcionalidade adicional ao sistema gerenciamento de projetos dotProject, permitindo a importação de arquivos no formato XML, incluídos os dados no sistema, possibilitando a gestão de forma automatizada do projeto incorporado.

Tabela 5.4 – Fluxo de eventos CDU4.

Fluxo principal	
Requisitos referenciados	RF4
Atores	Gerente de Projetos
Evento iniciador	Usuário acessa a opção Projetos/Tarefas do sistema DotProject.
Precondição	Usuário deve realizar login no sistema dotProject pelo *browser*.
Sequência de eventos	1. Usuário seleciona o arquivo a ser importado pelo sistema; 2. Sistema valida as informações selecionadas; 3. Usuário seleciona o projeto no qual o arquivo será adicionado pelo sistema; 4. Sistema efetua a importação do arquivo XML e insere os dados nas tabelas do sistema dotProject; 5. Sistema envia mensagem de tarefa concluída ao usuário.
Pós-condição	Arquivo importado adicionado nas tabelas do sistema dotProject.
	Fluxo alternativo
Caminhos alternativos e de exceção	**ERRO** Se houver divergências na análise, durante a importação do arquivo XML, será exibida uma mensagem de erro. Assim, os dados não serão inseridos no sistema dotProject; Erro relacionado ao arquivo origem XML não selecionado: sistema informa que a operação não pôde ser efetuada.

Fonte: Produção do autor.

CDU5 – Exportar dados do sistema dotProject para o formato XML

Este caso de uso exporta as informações do projeto como tarefas, recursos e dependências para arquivos no formato XML, que possibilitará a visualização por ferramentas de gerenciamento de projetos capazes de entender o padrão XML.

Tabela 5.5 – Fluxo de eventos CDU5.

Fluxo principal	
Requisitos referenciados	RF5
Atores	Gerente de Projetos
Evento iniciador	Usuário acessa à opção Projetos/Tarefas do sistema DotProject.
Precondição	Usuário deve realizar login no sistema dotProject pelo *browser*.
Sequência de eventos	Usuário seleciona o arquivo que receberá os dados que serão exportados pelo sistema; Sistema valida as informações selecionadas; Usuário seleciona o projeto do qual as informações serão exportadas pelo sistema; Sistema efetua a exportação dos dados de tabelas do sistema dotProject para o arquivo no formato XML; Sistema envia mensagem de tarefa concluída ao usuário.
Pós-condição	Arquivo exportado pelo sistema dotProject armazenado no local destino selecionado.
	Fluxo alternativo
Caminhos alternativos e de exceção	**ERRO** Se houver divergências na análise, durante a exportação do arquivo XML, será exibida uma mensagem de erro, assim o arquivo não será criado; Erro relacionado ao projeto não selecionado: sistema informa que a operação não pôde ser efetuada.

Fonte: Produção do autor.

5.5. Desenvolvimento do Ambiente ENGESIS-PLM

Este item apresenta o desenvolvimento do ambiente ENGESIS-PLM, formado pela integração das seguintes ferramentas: a) SmartDraw, utilizado para criação dos modelos de RTP; b) Simprocess, que permite o mapeamento de processos e simulação; c) Jet-Conversor, responsável pela conversão dos modelos gráficos RTP para padrões abertos de comunicação entre sistemas; d) dotProject, um ambiente *web* para gerenciamento de projetos; e e) Bizagi Suite, utilizado para modelagem BPMN, automação e gestão do ciclo de vida de processos de negócio.

5.5.1. O Aplicativo Jet-Conversor

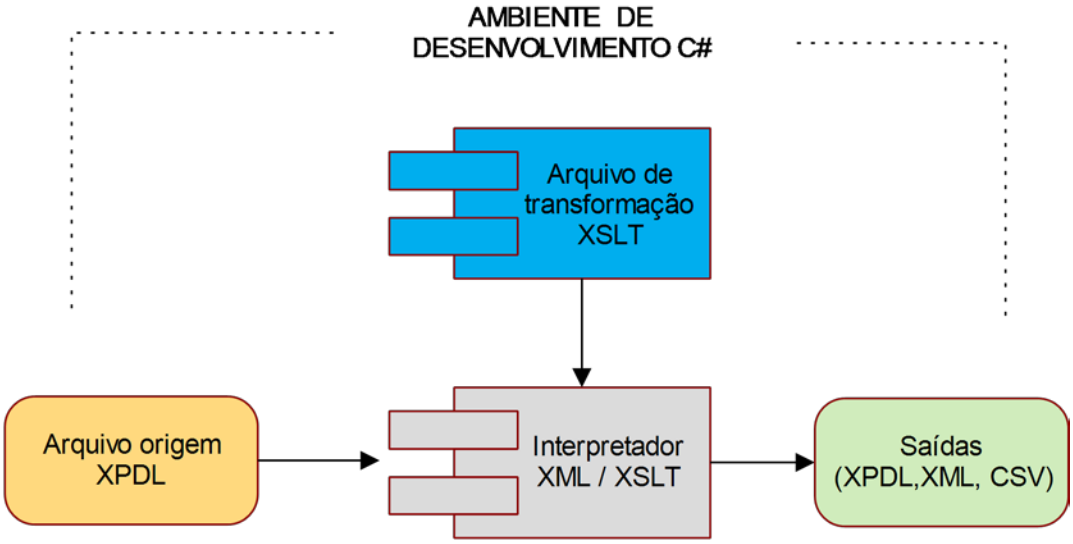
No atual cenário, o modelo gráfico RTP, utilizado como referência para implementação dos modelos especializados, é replicado manualmente nos aplicativos específicos de cada disciplina, gerando inconsistências e uma grande carga de trabalho.

O desenvolvimento do aplicativo Jet-Conversor deverá suprir a deficiência de comunicação direta entre as diferentes ferramentas que compõem o ambiente ENGESIS-PLM. O aplicativo permitirá a conversão do modelo RTP, analisando, validando e eliminando todas as informações que, por ventura, estejam excedentes, criando um novo arquivo com formato XPDL, que possa ser importado e trabalhado pelas ferramentas de modelagem de processos no padrão BPMN, mantendo, assim, a total aderência ao modelo de referência RTP e não gerando inconsistência e retrabalho.

A partir do arquivo XPDL criado, o sistema permitirá ao usuário gerar arquivos no formato XML ou CSV, e, durante o processo de conversão, eliminará toda informação referente à parte gráfica dos processos, mantendo apenas dados como: atividades, recursos, dependências, etc. Este arquivo poderá ser importado por ferramentas que entendam o padrão XML ou CSV, conforme selecionado pelo usuário, permitindo a manipulação destes dados e garantindo a consistência como modelo de referência RTP.

Para a construção do aplicativo Jet-Conversor, uma arquitetura de solução foi planejada e criada, fazendo uso do ambiente de desenvolvimento Visual Studio Express (2015) para Windows Desktop, utilizando a linguagem de programação C#. Adicionalmente, outros dois elementos fundamentais foram selecionados para compor o ambiente, o Xpath, uma linguagem de localização de elementos em um arquivo XML e a XSLT (*eXtensible Stylesheet Language Transformations*), linguagem utilizada para transformar a estrutura de um documento XML, permitindo a sua conversão em outros formatos como XLM, CSV, TXT (KAY, 2002). A arquitetura de solução para o desenvolvimento do aplicativo é apresentada na Figura 5.7, a seguir.

Figura 5.7 – Arquitetura de Solução do aplicativo Jet-Conversor.



Fonte: Produção do autor.

O ambiente Visual Studio Express foi escolhido por ser um ambiente livre e completo para estudantes e desenvolvedores individuais, juntamente com a linguagem C#, que é capaz de utilizar nativamente a tecnologia XSLT.

Por meio das funcionalidades disponibilizadas pelo Jet-Conversor, a comunicação entre as diferentes ferramentas que compõem o ambiente ENGESIS-PLM tornar-se-á algo transparente e automatizado, garantindo a integração e interoperabilidade entre os diversos sistemas - função primordial de ambientes PLM, conforme apresentado na Figura 5.8.

Figura 5.8 – Aplicativo Jet-Conversor.

Fonte: Produção do autor.

O aplicativo possui uma interface intuitiva; primeiramente, um arquivo origem no formato T-XPDL deve ser selecionado. Na ação seguinte, acontece a escolha do formato desejado para o novo arquivo a ser criado. No próximo passo, o usuário clicará no botão <Exportar>, uma janela para seleção do local de destino de armazenagem do arquivo será apresentada e, após a escolha, o processo será encerrado com uma mensagem de sucesso na conversão pelo Jet-Conversor.

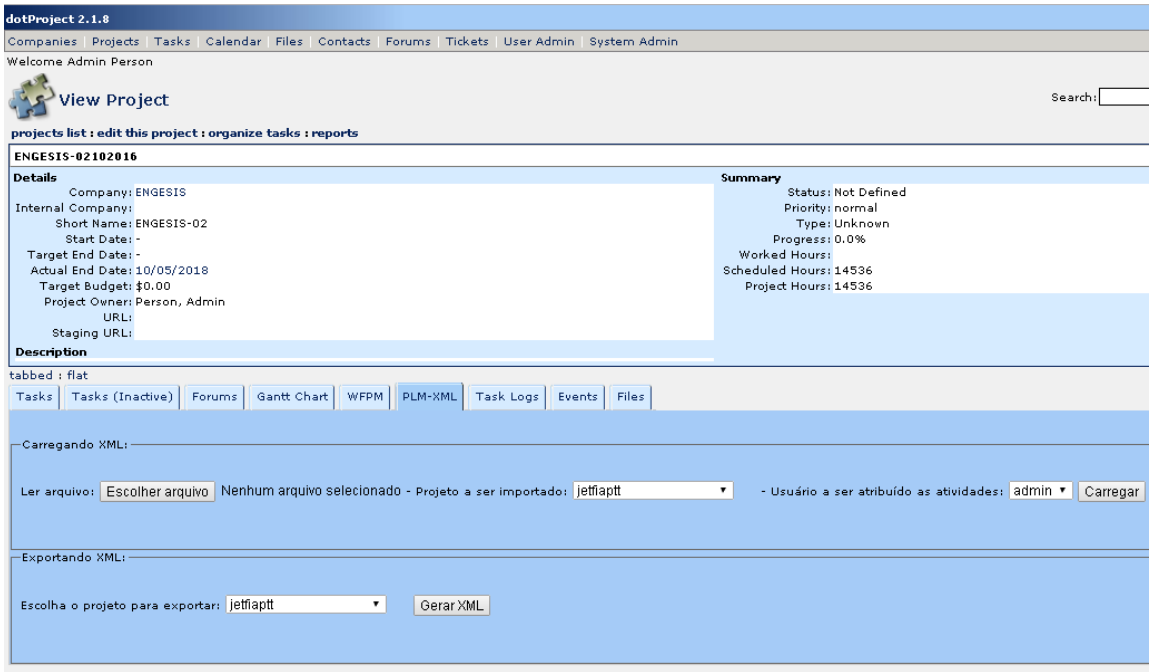
De acordo com o escopo da pesquisa, os formatos para exportação definidos neste trabalho foram (XPDL, XML, CSV), porém, as tecnologias adotadas para compor a arquitetura da solução permitem o desenvolvimento e a expansão para outros formatos, que poderão ser explorados por outros trabalhos futuros.

5.5.2. Sistema para Gerenciamento de Projetos dotProject

Um sistema de gerenciamento de projetos é composto por ferramentas, técnicas, metodologias, recursos e procedimentos que são usados para gerenciar um projeto.

Para apoio ao gerenciamento de projetos no ambiente ENGESIS-PLM, foi utilizado o sistema de gerenciamento de projetos dotProject. O dotProject é um sistema *web* projetado, em meados do ano 2000, como uma ferramenta avançada, uma alternativa aos produtos comerciais do mercado, com o objetivo de apoiar as atividades de gerenciamento de projetos. Composto por uma interface limpa, simples e consistente, possui o seu código-fonte livre, gerido, mantido, desenvolvido e apoiado por um grupo de voluntários e pelos próprios usuários, utilizando a linguagem PHP e banco de dados MYSQL para o seu desenvolvimento (DOTPROJECT, 2016).

Figura 5.9 – Módulo Importação/Exportação de XML adicionado ao sistema dotProject.



Fonte: Produção do autor.

Por meio das muitas funcionalidades disponíveis, o sistema permite o gerenciamento eficaz das tarefas, recursos e suas dependências, provendo o acompanhamento dos projetos de maneira dinâmica, tornando possível que diferentes usuários possam contribuir para diferentes projetos, anexando arquivos, atualizando o andamento das atividades, repriorizando atividades etc.

O desenvolvimento do módulo adicional a ser incorporado ao sistema dotProject permitirá que os dados do projeto gravados em arquivos XML

possam ser importados e armazenados no banco de dados do sistema, habilitando os usuários a manipularem esses dados para gerenciamento automatizado do projeto, garantindo toda a integridade e consistência com o modelo de referência RTP, conforme apresentado na Figura 5.9.

5.5.3. Sistema para Gestão de Processos BizAgi Suite

Os sistemas de suporte à Gestão do ciclo de vida de Processos de Negócio (BPMS) é uma ferramenta de *software* para apoiar a metodologia BPM, provendo um ambiente utilizado para suporte à construção de aplicações de automatização de processos de negócios complexos de uma forma interativa e flexível. Ela ajuda os usuários em todas as fases de desenvolvimento do ciclo de vida, encurtando o modelo de desenvolvimento e implantação do sistema e os tempos dispensados às etapas que antecederam a melhoria contínua dos processos críticos da organização.

As aplicações BizAgi são construídas progressivamente, iniciando-se com um modelo de processo de um tipo de fluxo de trabalho, construído em notação BPMN, usando um modelador de processos, e terminando com uma aplicação *Web* que executa como um componente de *software* embarcado do sistema real, automatizando, integrando e orquestrando todas as atividades e os recursos envolvidos na sua operação.

Asseguram a execução eficiente e adequada de toda a sequência de atividades envolvidas no processo de negócio, pela pessoa ou recurso correto, de acordo com os objetivos e regras das empresas, permitindo o monitoramento e o controle do processo a ser realizado em tempo real. São capazes de extrair automaticamente as informações relacionadas com o desempenho do processo e apresentá-las ao gestor do processo da organização, possibilitando melhorias dos próprios processos e aumento a sua eficiência. Oferecem um incomparável nível de flexibilidade para modificar o Processo de Negócio de forma simples, intuitiva e consistente.

Permitem trabalhar em todo o ciclo de vida do modelo completo de estudo dos processos de negócio: modelagem, implementação, execução, automação, monitoramento, análise e melhoria contínua do sistema.

Fornecem um ambiente para o desenvolvimento completo e implantação de uma aplicação que atuará como parte dos mecanismos utilizados na operação do sistema real, desempenhando um papel importante em aspectos quanto à sua execução, seu acompanhamento e controle, e contribuindo para a sua melhoria contínua, conforme apresentado na Figura 5.10.

Figura 5.10 –Sistema BPMS BIZAgi Suite.

Fonte: Elaboração do autor.

6 APLICAÇÃO DO ENGESIS-PLM A PEQUENOS SATÉLITES

Este capítulo descreve uma aplicação do ambiente de apoio ENGESIS-PLM a pequenos satélites, por meio de um projeto-piloto que teve origem na disciplina CSE-326 - Modelagem e Simulação de Sistemas, ministrada no segundo período acadêmico de 2015, e que foi continuado na disciplina CSE-331 - Simulação e Gestão de Processos, ministrada no terceiro período acadêmico de 2015. Tal aplicação está sendo concluída nas novas edições destes cursos, em realização durante o segundo e terceiro períodos de 2016, todos eles pertencentes ao programa regular de pós-graduação em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais (CSE) do Departamento de Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE).

6.1. Introdução

As disciplinas supramencionadas foram ministradas pelo Prof. Dr. Germano de Souza Kienbaum e tiveram como projetos finais de cursos, cada qual consistindo em um período de 03 (três) meses, a utilização da metodologia transdisciplinar para uso da CT²P para a criação de *Framework* ENGESIS e sua implementação, bem como para o projeto e implementação do seu ambiente ENGESIS-PLM de apoio.

A aplicação da metodologia CT²P ao projeto-piloto envolveu a fase de *design* do ciclo de vida de pequenos satélites, correspondendo à realização das seguintes etapas: 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 projeto-piloto foi conduzido na forma de projetos finais de cursos, realizados ao longo de quatro períodos acadêmicos, por 10 (dez) alunos de pós-graduação do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas (CSE/ETE) e mais 02 (dois) professores que atuavam como gerentes, sendo estes os Profs.

Drs. Germano de Souza Kienbaum (CEO BPM/SIM) e Álvaro Augusto Neto (CEO PLM/ENG).

6.2. Classe de Satélites

Segundo Kramer e Cracknell (2008), existem diversas maneiras de classificar satélites artificiais - por função, tipo de órbita, custo, tamanho, desempenho e assim por diante. No entanto, uma classificação baseada na massa revela-se muito útil, porque tem um impacto direto no custo de uma missão espacial, constituindo um obstáculo considerável para cada missão. De acordo com Martin N. Sweeting, do *Surrey Satellite Technology Ltd*. (SSTL), em seu artigo de 1991, a primeira classificação conhecida de satélites deu-se da seguinte forma, como apresentado na tabela 6.1:

Tabela 6.1 – Classificação de satélites.

Classificação	**Massa (Kg)**
Satélites Grandes	> 1.000
Satélites Pequenos	500 -- 1.000
Minissatélites	100 -- 500
Microssatélites	10 -- 100
Nanossatélites	< 10

Fonte: Sweeting (1991) apud Capó-Lugo e Bainum (2012).

Posteriormente, a classificação proposta por Sweeting foi revisada, e duas outras classes de satélites foram incorporadas (Picossatélites, com massa entre 100 g e 1 kg, e Femtossatélites, com massa entre 1 g e 100 g) e a alteração da classe Minissatélites, que passou a incluir satélites de 100 kg a 1000 kg. Com a alteração na classe Minissatélite, o termo “satélite pequeno” passou a ser utilizado para referenciar todos os satélites com massa inferior a 1000 kg. Embora, de acordo com os autores, essas modificações tenham sido adotadas por diversas organizações e autores, não há na literatura consenso com relação à questão (KRAMER; CRACKNELL, 2008).

De acordo com Capó-Lugo e Bainum (2012), outras classificações podem ainda ser encontradas, conforme mostrado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Classificação de satélites de acordo com a massa.

Classificação	**Massa (Kg)**
Satélites Grandes	> 1.000
Satélites Médios	500 -- 1.000
Minissatélites / Satélites Pequenos	100 -- 500
Microssatélites	10 -- 100
Nanossatélites	1 -- 10
Picossatélites	0,1 -- 1
Femtossatélites	< 0,1

Fonte: Capó-Lugo e Bainum (2012).

Para o projeto-piloto descrito neste trabalho, será considerada a classificação descrita na Tabela 6.2.

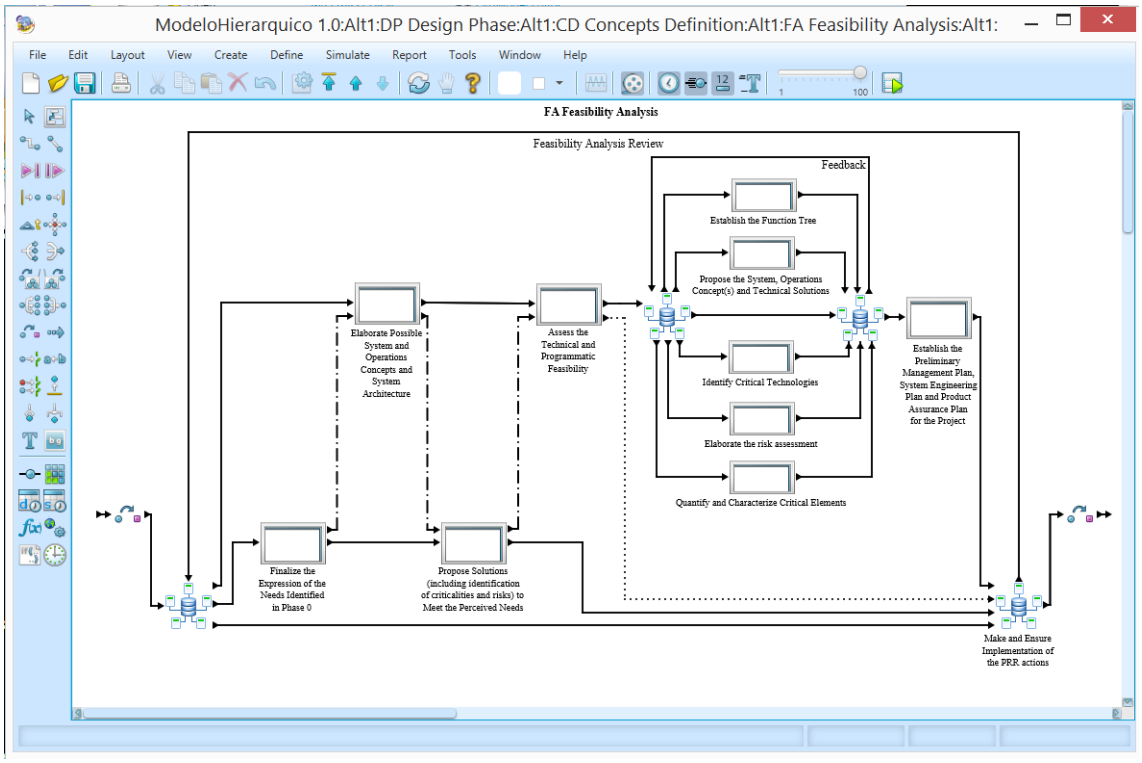
6.3. Modelagem Conceitual

Os modelos em formato RTPs com os processos e as atividades utilizadas para a implementação dos modelos especializados apresentados neste trabalho são os mesmos modelos de referência apresentados em Fernandez (2016) para os macroprocessos Definição de Conceitos (Análise de Missão, Análise de Viabilidade, Planejamento e Necessidades e Requisitos de *Stakeholders*) e Definição de Sistemas (Requisitos de Sistemas, definição de Arquitetura Lógica, Definição de Arquitetura Física e Análise de Sistemas).

Para fins da demonstração feita com o projeto-piloto, apenas os macroprocessos da Definição de Conceitos foram considerados. Isso se deu em razão da limitação de tempo e dos demais recursos disponíveis para a realização do projeto de classe durante os períodos acadêmicos equivalentes ao primeiro e segundo períodos do ano de 2015 (CSE 231 e 326) e o segundo período do ano de 2016 (CSE 211).

A interface gráfica utilizada na representação do modelo hierárquico e para auxiliar na calibração de dados dos modelos foi a ferramenta GUI SimProcess. Ela permite a decomposição hierárquica dos processos e sua parametrização em termos da alocação dos recursos e definição das durações das atividades, conforme apresentado na Figura 6.1.

Figura 6.1 – GUI Simprocess – Editor gráfico para construção do modelo de referência (modelos RTPs).



Fonte: Produção do autor.

Alguns dos dados usados na calibração e teste dos modelos são fornecidos a seguir:

6.4. Parametrização dos Modelos

Foi realizado um estudo da literatura atual em busca de projetos relacionados a pequenos satélites, visando à coleta de dados para auxiliar na parametrização do modelo de referência com relação à fase de *design*, composta de Definição de Conceitos e Definição de Sistemas.

Este procedimento de inserção de dados nos modelos, para que eles reflitam da melhor forma possível os cenários reais de aplicação a projetos de pequenos satélites, foi denominado de “parametrização dos modelos”. Cabe observar que isso não corresponde a um “estudo de caso” propriamente dito, sendo comparável apenas a um “teste de carga ou validação do modelo”, anteriormente à sua aplicação em qualquer estudo de caso propriamente dito a ser implementado no futuro.

Parte dos dados foram obtidos em artigos acadêmicos da área espacial, no tocante a pequenos satélites, conforme apresentados em detalhes em Fernandez (2016) e reproduzidos no Apêndice A deste trabalho.

6.4.1. Atribuição de Tempo, Recursos e Custos

As durações das atividades foram estimadas usando-se uma projeção para o tempo total do ciclo de vida do projeto, baseada num cenário em que um pequeno satélite esteja sendo projetado num contexto universitário, com um prazo máximo de três anos para o projeto completo, sendo que a duração de suas fases de definição de conceitos e definição de sistemas equivalentes foram, respectivamente, um e dois semestres acadêmicos. Com essa abordagem, foi possível determinar o número de horas de cada atividade, bem como o número total de horas para a realização do projeto.

Num caso real, seria importante que a definição da duração de cada atividade fosse fixada (ou revista) por profissionais com experiência anterior em projetos desta natureza. Na ausência de tais pessoas, exemplos de projetos similares disponíveis em artigos científicos podem ser utilizados, ou esses tempos podem ser estimados por meio de reuniões com profissionais experientes, que possam orientar essa atividade.

Os recursos utilizados foram três gerentes de projeto e doze engenheiros de desenvolvimento de produto. Os gerentes de projeto também atuam como engenheiros, apoiando o desenvolvimento dos satélites quando necessário. O

grupo de engenheiros consistia em quatro doutorandos (PhD) e oito estudantes de mestrado (MSc).

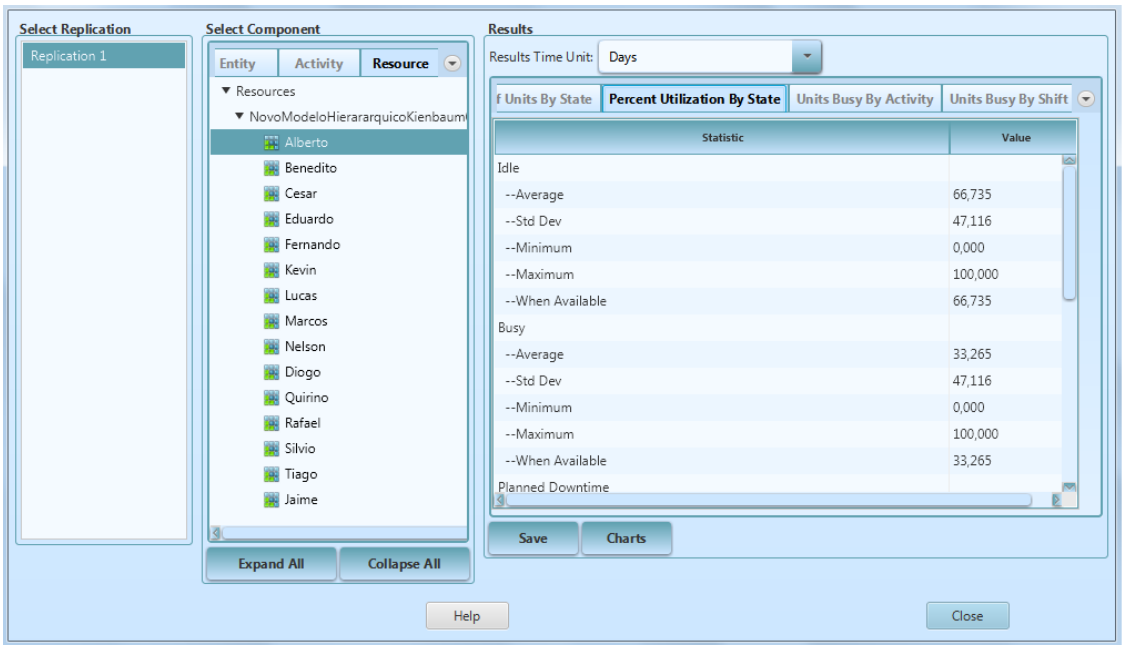
Para refletir o uso de recursos humanos, quinze recursos foram criados em GUI SimProcess. A cada recurso foi atribuído um nome, composto pela primeira letra do alfabeto, a fim de facilitar a alocação de atividades.

Em seguida, esses recursos foram alocados para as atividades em GUI SimProcess. Essa alocação seguiu o metamodelo de referência descrito em Diagramas para a Modelagem Unificada do Ciclo de Vida (DMUCV). Por exemplo, o processo de análise da missão contém duas colunas, quais sejam, 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.

Desta forma, foi possível se fazer também uma atribuição de custos baseada em atividades e em seus recursos empregados. A referência para o custo dos recursos foi assumida como os valores das bolsas mensais concedidos pela CAPES para estudantes de mestrado (R$ 80,00 por dia) e estudantes PhD (R$ 120 por dia). O grupo de gerentes de projeto consiste de Doutores/Pesquisadores que tiveram seus custos estimados em (R$ 720,00 por dia). O número de horas de trabalho por dia foi parametrizado em 8 oito horas.

O ambiente de suporte GUI SimProcess permite a visualização dos detalhes da utilização de recursos, conforme apresentado na Figura 6.2.

Figura 6.2 – GUI SimProcess – Detalhes da utilização de recursos.



Fonte: Produção do autor.

6.4.2. Elaboração de Cenários

Um possível cenário simulado para aplicação foi o de um microssatélite, no qual o tempo total das fases Definição de Conceitos e Definição de Sistemas – consideradas mais complexas – seria de seis meses e de um ano, correspondente à duração de um e de dois semestres em uma universidade, respectivamente. Os cenários alternativos, definidos para os satélites de menor porte, equivalentes a pico e nanossatélites, considerados menos complexos, tiveram os tempos de suas atividades reduzidas para refletir o menor esforço.

Na sequência, a Tabela 6.3 apresenta a duração dos macroprocessos para o cenário envolvendo um microssatélite e sua respectiva alocação de recursos.

Tabela 6.3 – Dados usados para modelo especializado para o microssatélite BRAZUCA-4

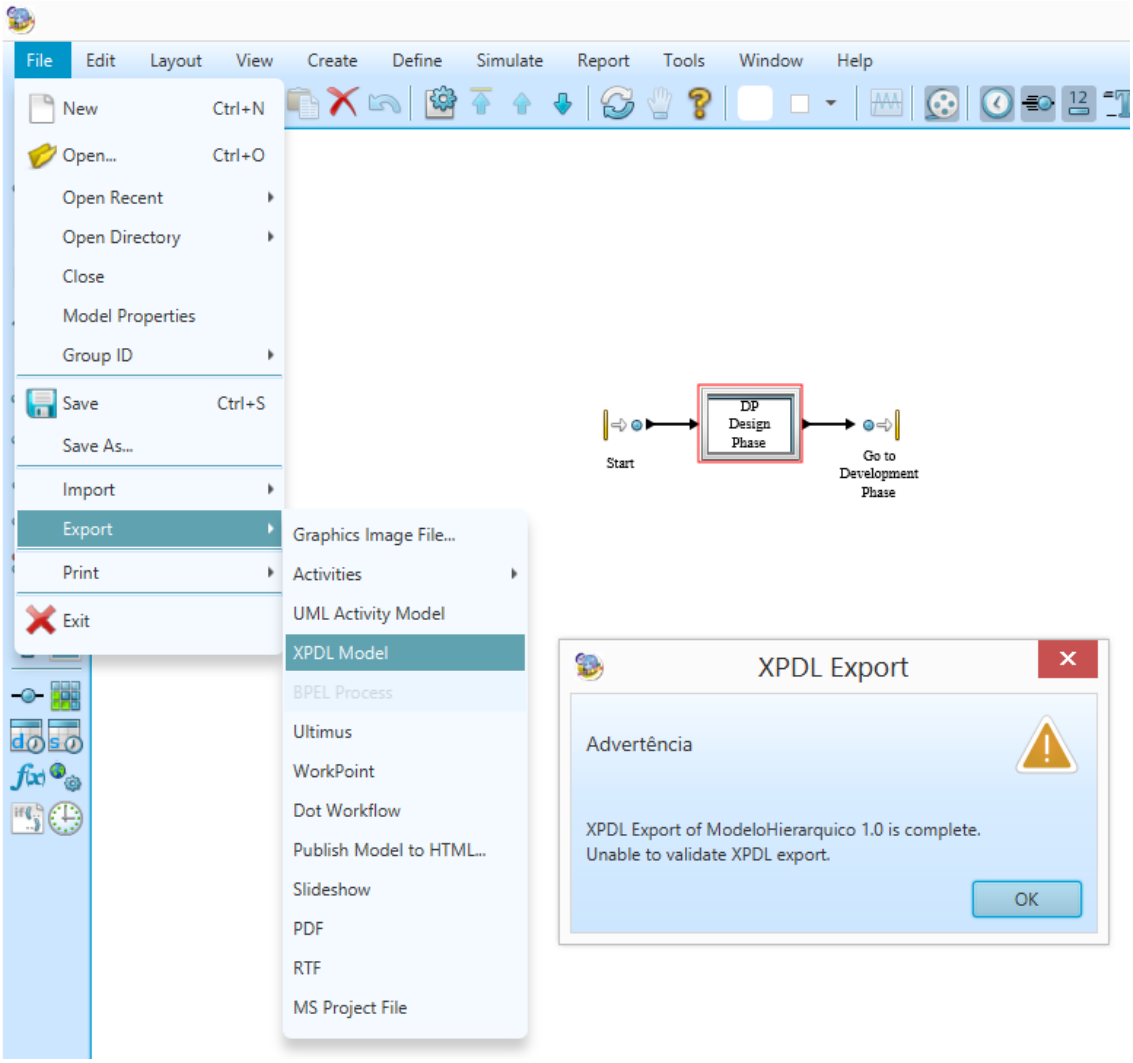
Activity	Work (hs)	Duration (days)	Resources (people)
Satellite Design	4545	130	20
Concepts Definition	2755	85	15
Mission Analysis	569	14	9
Mission Feasibility Analysis	770	14	9
Planning	896	30	7
Stakeholder Needs and Requirements	520	27	3
Systems Definition	1790	45	14
Systems Requirements	808	16	9
Logical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

Fonte: Produção do autor.

6.5. Uso do Jet-Conversor – Transformações do Modelo de Referência

A implementação do modelo RTP, composto pela decomposição hierárquica dos processos, alocação dos recursos e definição das durações, num formato dinâmico para verificação e teste, faz uso da ferramenta GUI SimProcess. A ferramenta possui diversos elementos gráficos específicos pré-construídos e ainda uma importante funcionalidade, que permite a exportação do modelo RTP criado para um arquivo no formato XPDL. Esta exportação é feita com todos os elementos gráficos do Simprocess utilizados no modelo, possibilitando uma forma de comunicação entre o Simprocess e outras ferramentas, conforme apresentado na Figura 6.3 a seguir.

Figura 6.3 – GUI SimProcess – Exportação de modelos RTP no formato XPDL.



Fonte: Produção do autor.

É imprescindível que o arquivo do modelo RTP exportado em formato XPDL pela GUI do Simprocess passe por análises e revisões por meio da ferramenta Jet-Conversor, para que os elementos gráficos específicos não reconhecidos por outras ferramentas sejam eliminados, provendo ao final desta conversão:

a) Arquivos nos padrões XPDL WfMC, que permitam a sua leitura pela ferramenta BizAgi Modeler, na qual será feita análise e ajustes necessários ao modelo gráfico BPMN, utilizados para criação do modelo especializado de gestão de processos;

b) Arquivos no formato XML, para serem lidos pela ferramenta ProjectLibre, utilizada na criação dos modelos especializados de gerenciamento de projetos; e

c) Arquivos no formato CSV, que podem ser lidos por diversas ferramentas que reconheçam este padrão.

Os arquivos gerados pela GUI do Simprocess são processados pelo Jet-Conversor, que os transcreve para os diversos padrões supracitados, sendo então importados pelas ferramentas de apoio de cada disciplina, de modo a serem complementados e utilizados para concluir as fases de bricolagem e implementação dos modelos especializados.

A simulação com o modelo de referência pode ser usada para verificar o modelo e calibrar seus parâmetros, como por exemplo, a distribuição dos recursos, ou pode-se fazer uso de dados previamente existentes, no caso da realização de projetos anteriores.

O modelo de referência será utilizado a seguir como ponto de partida para criação dos modelos especializados, garantindo a aderência entre todos eles. O projeto-piloto realizado para o desenvolvimento dos modelos especializados é apresentado a seguir, dividido em suas etapas de implementação, correspondentes às quatro disciplinas envolvidas em CT²P: Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos, Gerência de Projetos, Gestão de Processos de Negócios e Simulação de Sistemas.

6.6. Desenvolvimento dos Modelos Especializados

A Fase de Desenvolvimento da aplicação da metodologia CT^2P compõe-se das atividades de bricolagem, implementação dos modelos, execução e análise para cada uma de suas disciplinas componentes, fazendo uso de seus aplicativos individuais.

As atividades que compõem esta Fase de Desenvolvimento da abordagem CT²P são definidas em detalhes a seguir:

a) Bricolagem dos modelos especializados. Na bricolagem ou modelagem especializada produz-se uma descrição multimodelos e multicamadas, em que as técnicas usadas para a construção do modelo em camadas são executadas na seguinte ordem, a partir da camada mais interna para a mais externa: ESBM, GP, GPN e SIM. A bricolagem ou modelagem especializada é realizada com o apoio das notações e técnicas existentes em cada uma das disciplinas componentes da CT^2P, fazendo uso de ambientes de apoio já existentes para cada uma das técnicas específicas.

b) Implementação dos modelos especializados. A implementação dos modelos especializados é a complementação dos modelos resultantes da fase de bricolagem com todas suas funcionalidades e dados da parametrização. Normalmente, estas funcionalidades são introduzidas com base em ferramentas adicionais que são extensões dos próprios ambientes de apoio utilizados na bricolagem ou modelagem especializada.

c) A experimentação execução do modelo consiste na execução dos aplicativos criados com as ferramentas individuais, da melhor maneira integrada para o seu funcionamento, o que deve ser assegurado pela 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.

d) A avaliação individual do modelo especializado 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 especializado, bem como sua melhoria em longo prazo.

A execução e acompanhamento dos modelos especializados produz resultados de acordo com cada visão disciplinar utilizada, que podem ser comparados e integrados na forma de uma análise multifacetada, a fim de se obter uma avaliação global do sistema, visando medir o seu desempenho e permitir a melhoria contínua do seu modelo de processos e forma de operação.

6.6.1. Desenvolvimento do Modelo de Engenharia de Sistemas

A Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos – do inglês *Model Based System Enginnering* (MBSE) – é definida em MBSE (2016, p. 132) 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”.

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 se referir 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 até 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 – tais como entradas, produtos, recursos e controles pertencentes às atividades – e também dos dados sobre o sequenciamento dos processos (*workflow*) representados no modelo de referência.

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.

Neste trabalho, foi utilizado o modelo de engenharia criado por Fernandez (2016) na demonstração do *framework* CT²P. Esse modelo descreve 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 vão sendo evoluídos e implementados. A ferramenta de desenho gráfico SmartDraw® foi usada para apoiar a modelagem Análise do Modelo Especializado de Gerenciamento de Projetos

6.6.2. Desenvolvimento do Modelo de Gerência de Projetos

Segundo o Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (PMI, 2013, p. 3): “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 a 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.

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 a processos e auxiliada por ferramentas de *software*.

O modelo para Gerenciamento de Projetos – em inglês, *Project Management* (PM) – estende o modelo de processos da engenharia de sistemas com os processos PM adicionais complementares, relacionados aos processos de

desenvolvimento e de gestão da produção ao longo do ciclo de vida inteiro do produto.

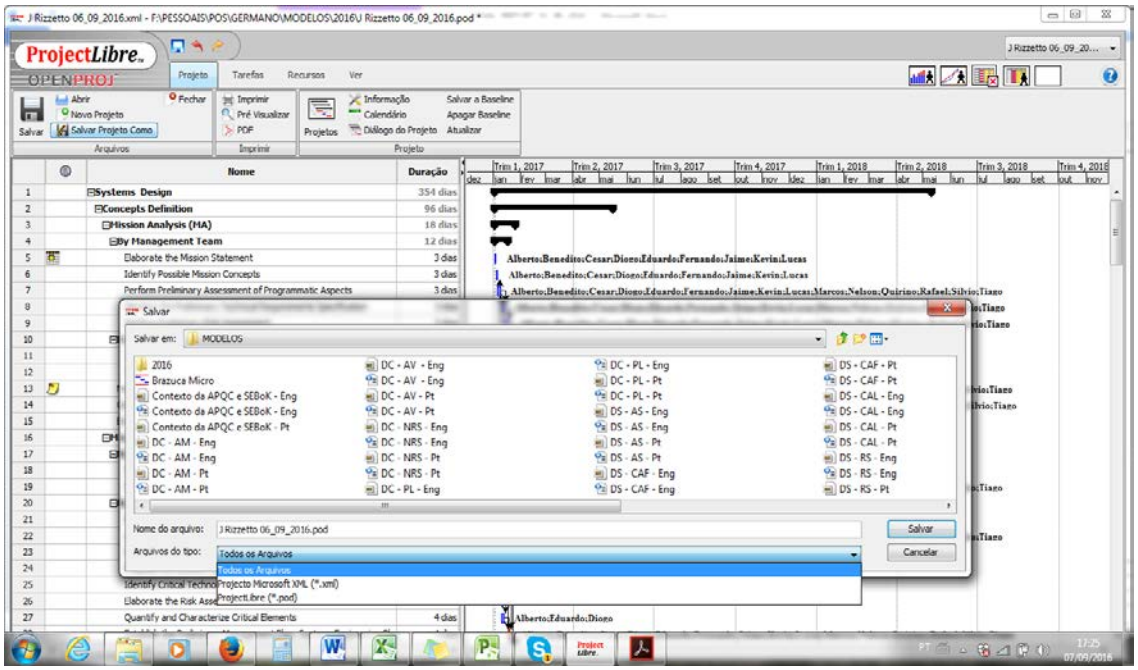
No projeto-piloto descrito neste trabalho, a fase de bricolagem do modelo especializado de Gerência de Projetos faz uso do ambiente ProjectLibre (2016), uma ferramenta *open source*, que se apresenta como uma alternativa ao Microsoft Project® (MS PROJECT, 2013) para criação do modelo estático de gerenciamento de projetos. A duração de cada atividade individual já vem ajustada nos dados disponíveis a partir do modelo RTP implementado na GUI do Simprocess e transformado para o formato XML pelo Jet-Conversor.

Os modelos especializados para gerência de projetos são criados por meio da leitura do arquivo no formato XML gerado pela ferramenta Jet-Conversor, que contém as informações do metamodelo de referência RTP. A disposição das atividades de forma serial ou paralela e concatenação (precedência) destas para a construção dos diagramas Pert e gráfico de Gannt na interface do ProjectLibre necessitam ser acrescentadas de forma manual neste sistema, pois esta informação não consta do arquivo XPDL produzido pelo Jet-Conversor. O sequenciamento de atividades em ProjectLibre é acrescentado por meio da identificação da atividade predecessora de cada atividade.

Os ciclos ou realimentações existentes no modelo de processos são representados como atividades alternativas, realizadas apenas caso haja necessidade de revisão de um trabalho já efetuado, 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.

A Figura 6.4 apresenta a criação dos macroprocessos da Definição de Conceitos em uma descrição de alto nível, por meio da leitura do arquivo no formato XML.

Figura 6.4 – Uso do ProjectLibre para modelagem dos Processos Definição de Conceitos.



Fonte: Produção do autor.

6.6.3. Desenvolvimento do Modelo de Gestão de Processos

A Gestão de Processos de Negócios (do inglês *Business Process Management* – BPM) é uma abordagem para identificar, projetar, executar, documentar, medir, monitorar e controlar processos de negócios, buscando uma melhor definição, padronização e automatização destes processos e seu alinhamento com as metas e objetivos estratégicos das empresas (ABPMP, 2009).

A BPM também pode ser vista como ferramenta de trabalho colaborativo que faz uso de grande suporte tecnológico para a melhoria, inovação e gerenciamento de processos de negócios que levem a resultados, criem valor e habilitem a organização a atingir com mais agilidade seus objetivos de negócio (ABPMP, 2009).

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, supramencionada, 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 (2011).

BPDs são apenas 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, de monitoramento e controle.

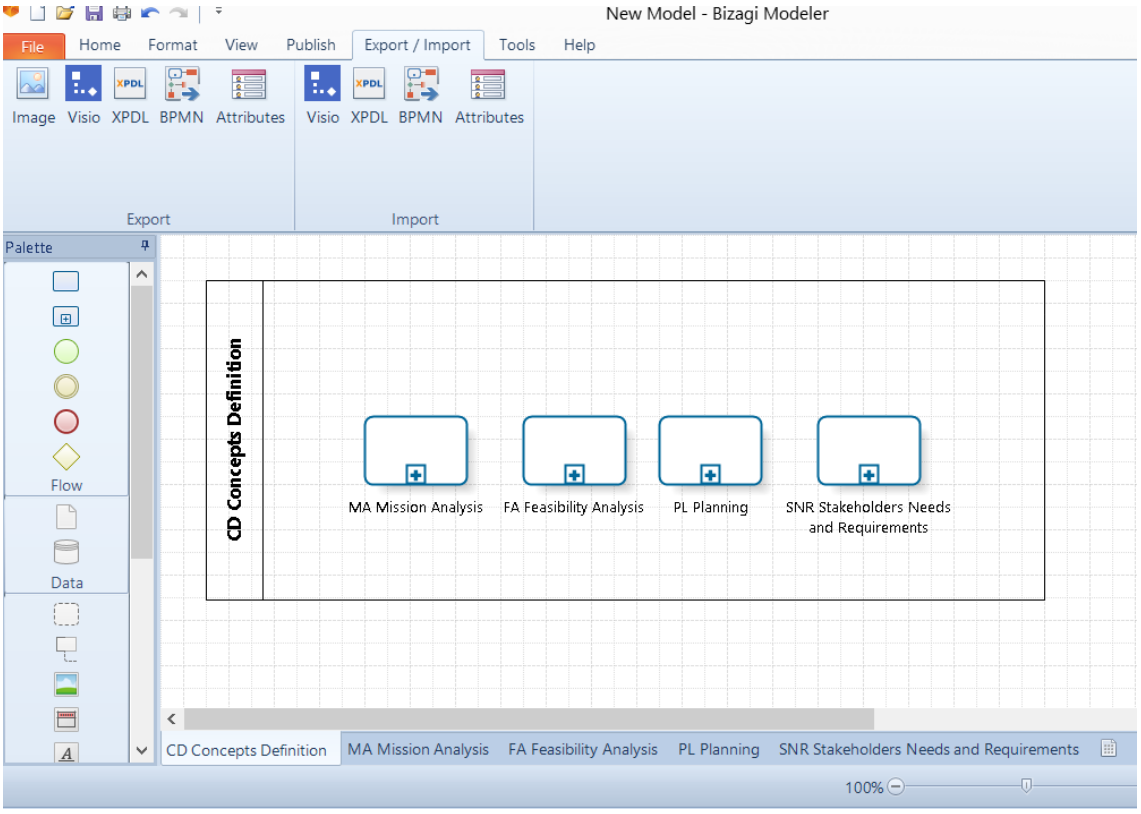
Nesse trabalho, fez-se uso do BIZAGI Modeler, que dispõe de uma funcionalidade para leitura do arquivo XPDL WfMC gerado pelo Jet-Conversor, importando as informações essenciais do modelo de referência RTP, bem como permitindo sua complementação e posterior construção/implementação

destes por meio do Bizagi Suite. Com isto, é possível diminuir o esforço de implementação do modelo de processos e melhorar a consistência entre ele e o modelo de referência.

O modelo especializado de processos desempenha um papel muito relevante como um dos componentes a ser integrado a um ambiente PLM básico.

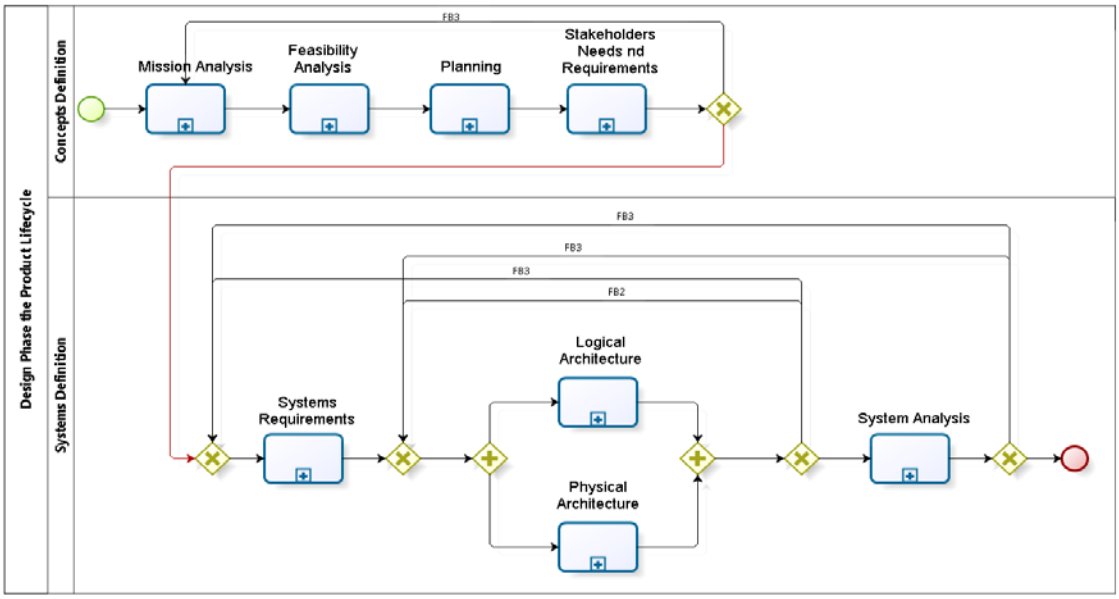
A Figura 6.5 mostra o resultado da importação do modelo em XPDL produzido pelo Jet-Conversor; e a Figura 6.6 mostra o modelo ajustado resultante para a fase de *design* do ciclo de vida de engenharia de sistemas na notação BPMN, tal como representado na GUI do BIZAGI.

Figura 6.5 – Fase de *design* ES – Modelo BPMN Definição de Conceitos importado pelo Bizagi Modeler a partir do arquivo produzido pelo Jet-Conversor.



Fonte: Produção do autor.

Figura 6.6 – Fase de *design* ES – Modelo final BPMN da Definição de Conceitos após complementação pelo usuário.



Fonte: Produção do autor.

Os modelos criados com o uso da BPMN contribuem para uma melhoria contínua dos modelos de processos e da integração entre sistemas dentro do conceito de um ambiente PLM de apoio. A abordagem de gestão por processos 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.

As funcionalidades para a implementação de aplicativos capazes de realizar a automatização dos processos ao longo de todo o ciclo de vida estão disponíveis no ambiente BizAgi Suite, sendo que, neste trabalho, fez-se a demonstração de algumas destas potencialidades, em algumas das principais atividades de cada macroprocesso (Análise de Missão, Análise de Viabilidade, Planejamento e Necessidades e Requisitos de *Stakeholders*) cobrindo um ciclo de vida destes macroprocessos do início ao fim, tais como:

a) Definição e Criação do modelo de dados para armazenar todas as informações inseridas durante a execução dos processos.

b) Criação dos formulários, responsáveis por criar a interface entre o usuários e o processo, permitindo a inserção de informações relacionadas à tarefa em execução.

c) Definição dos participantes para cada atividade do processo.

d) *Deploy* e execução do processo, permitindo a interação com os usuários.

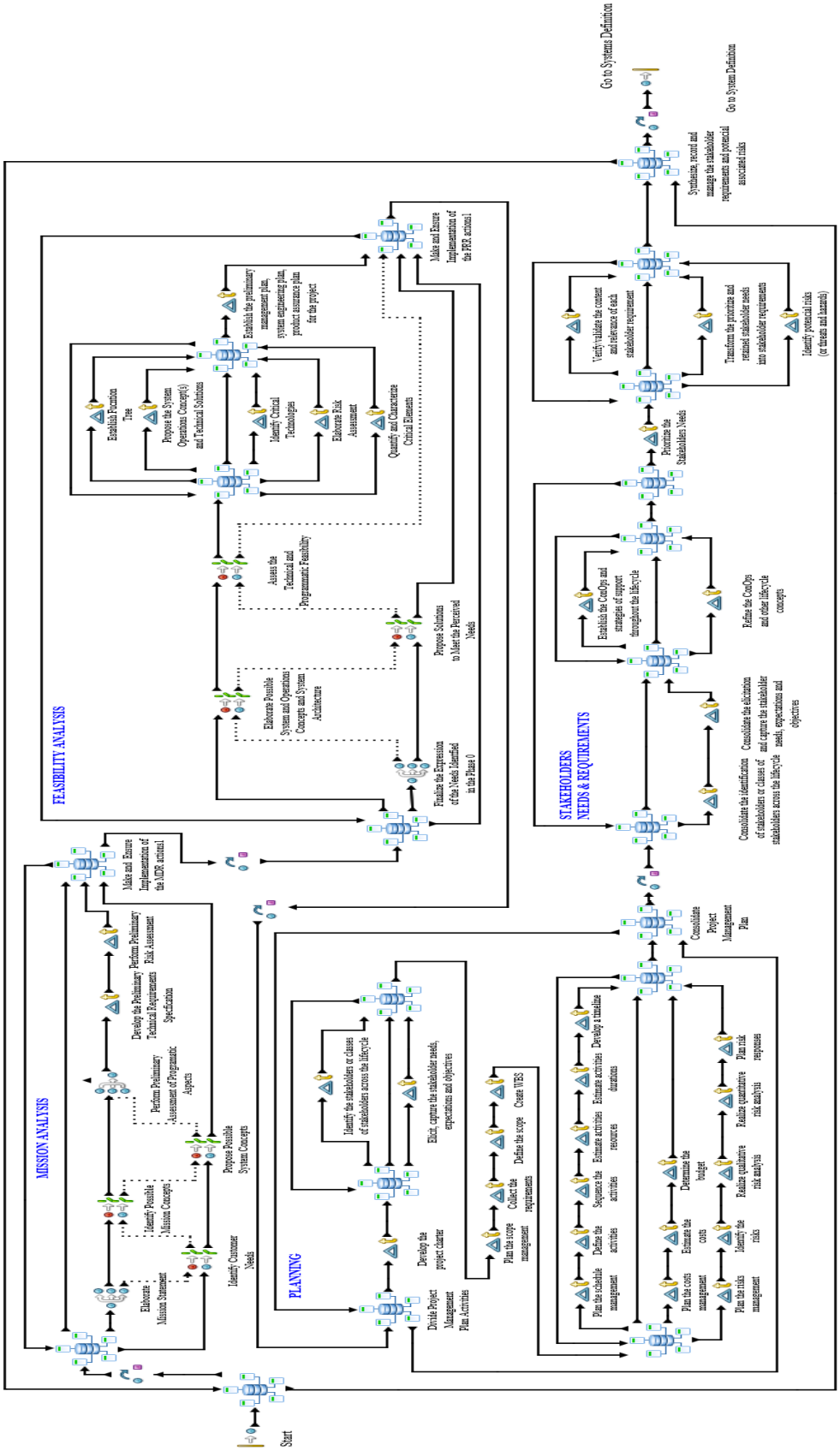
6.6.4. Desenvolvimento do Modelo de Simulação de Sistemas

A simulação pode ser vista como o estudo do comportamento de um sistema real, por meio da execução e análise de seus modelos computacionais representativos. 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 também quando os problemas são muito complexos para tratamento analítico (PIDD, 1992).

O modelo de referência RTP é implementado na GUI SimProcess sob dois tipos de formatos, um hierárquico e outro estendido. É transformado na notação do modelo de simulação específica e implementado de acordo com as regras utilizadas pelos fabricantes dos sistemas proprietários – como demonstrado no exemplo da Figura 6.7, criada com o sistema de simulação de SIMPROCESS® (SIMPROCESS, 2016), e que descreve o macroprocesso Definição de Conceitos.

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

Figura 6.7 – Protótipo de Macroprocessos - Definição de Conceitos.



Fonte: Produção do autor.

7 EXPERIMENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

7.1. *Design* de Experimentos

Design de experimentos consiste na elaboração de um plano para a experimentação com o modelo, considerando-se 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).

A proposta elaborada para projeto de experimentos 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 analisados foram: BRAZUCA-1 (Picossatélite), BRAZUCA-2 e BRAZUCA-3 (Nanossatélites) e BRAZUCA-4 (Microssatélite). Esses satélites diferem-se por suas missões e carga útil. A Tabela 7.1 apresenta as diferenças entre os quatro satélites analisados.

Tabela 7.1 – 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

Fonte: Produção do autor.

Na criação dos cenários e do projeto de experimentos é importante a verificação cruzada dos modelos especializados de todas as disciplinas, a fim de comprovar a utilização dos parâmetros que são comuns. Dessa forma, assegura-se 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. Como exemplo, é válido mencionar a duração de uma

atividade particular e os recursos alocados no modelo especializado de Gerenciamento de Projeto descrito com o ProjectLibre, que precisam ter os mesmos valores introduzidos no modelo similar de simulação especializada construído com o ambiente de apoio SIMPROCESS®.

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

Frequentemente, esses componentes não são projetados para aplicações e missões espaciais semelhantes à desses pequenos satélites, mas sim para outros objetivos, como testes e adaptabilidade desses componentes em ambiente espacial.

Os modelos de quatro tipos diferentes de satélites, descritos na Tabela 7.1 acima, foram experimentados em diversos cenários, com base nos dados de entrada originais atribuídos à descrição do microssatélite, já previamente estabelecido. A Tabela 7.2, a seguir, resume a parte comum dos dados sobre o tempo de duração e os recursos utilizados nos quatro cenários, sobre os diferentes tipos de pequenos satélites considerados.

Vários experimentos foram realizados variando-se as durações para as atividades dos macroprocessos Definição de Conceitos e Definição do Sistema, para os satélites Brazuca-1, 2, 3 e 4. Como exemplo, o picossatélite 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 complexos.

Tabela 7.2 – 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

Fonte: Produção do autor.

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

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

b) 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 em 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 em que os ciclos de realimentação foram executados no modelo. Esses 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.

Para se ter um exemplo, durante uma Revisão do Modelo de *Design* (MDR) foi possível 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 em um diálogo apresentado pela ferramenta SIMPROCESS®, durante a inicialização da simulação, quantas vezes a entidade deve passar por esse ciclo de realimentação.

No projeto-piloto 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. Isso significa que não houve previsão de revisão do modelo inteiro na experimentação realizada.

8 AVALIAÇÃO GLOBAL

Nesta fase é realizada uma avaliação tanto da aplicação da metodologia como um todo, do uso do ambiente de apoio à metodologia, bem como dos resultados integrados obtidos a partir da implementação dos modelos especializados individuais, sua execução e análise. Isto é feito por meio de uma atividade de avaliação geral única, visando à consolidação dos resultados.

8.1. Avaliação da Aplicação do *Framework* ENGESIS

Este trabalho apresentou a potencialidade da metodologia e do uso de um PLM genérico para auxiliar na melhoria dos processos de gestão do ciclo de vida do produto em missões espaciais.

O uso integrado dos quatro tipos de técnicas de avaliação do modelo em estudos da CT^2P revela que elas têm uma natureza complementar.

A complementaridade dos resultados é devido ao fato de que todos os modelos especializados fazem uso de um modelo de referência no início de seus processos de modelagem, o que permite uma avaliação conjunta e integrada do modelo de gestão do ciclo de vida da produção.

A combinação das quatro técnicas é, portanto, muito promissora, mas o uso das atuais ferramentas de *software* existentes está sujeito a algumas limitações em relação à sua interoperabilidade, uma vez que elas foram projetadas com finalidades diferentes e não levam em conta a sua natureza complementar.

A arquitetura proposta para o PLM genérico visa suprir a deficiência acima identificada, permitindo o uso dos diversos aplicativos de uma maneira consistente, baseado tanto no fato de se fazer uso de um modelo de referência transdisciplinar de processos quanto na conversão automática entre os diversos tipos de modelos.

As disciplinas ESBM, PM, BPM e SIM e as suas ferramentas de apoio, trabalhando de forma individual, demonstram baixa eficiência. Assim, por não existir uma integração direta com o modelo de referência RTP, os modelos

especializados são criados isoladamente, o que acarreta grande volume de trabalho, bem como várias inconsistências e necessidades de retrabalho.

Por meio do projeto-piloto realizado, foi feita uma demonstração da aplicação do *framework* ENGESIS para o desenvolvimento de projetos associados com missões espaciais de pequenos satélites e para projetar e implementar um ambiente de apoio à metodologia, denominado ENGESIS-PLM, capaz de auxiliar na gestão do ciclo de vida do produto, em especial demonstrado por meio de sua aplicação à fase de *design* do produto em missões espaciais.

8.2. Avaliação do Ambiente de Apoio ENGESIS-PLM

Para o conjunto de ferramentas selecionadas na composição do ambiente ENGESIS-PLM, considerou-se a proposta de um modelo PLM genérico em CT^2P que faça uso de ferramentas de baixo custo ou licenças acadêmicas /código aberto e de fácil utilização pelos usuários.

A implementação do aplicativo Jet-Conversor permitiu ao ambiente ENGESIS-PLM prover a comunicação entre as ferramentas especializadas, garantindo a interoperabilidade e fazendo com que trabalhem de forma complementar, provendo mecanismos de automação para auxiliar a utilização das disciplinas de forma transdisciplinar, ou seja, de forma integrada e simultânea.

As ferramentas utilizadas no ambiente ENGESIS-PLM podem ser substituídas, sempre que necessário, por ferramentas que trabalhem com os formatos abertos de comunicação como (XML, CSV, XPDL), de acordo com as necessidades e restrições estabelecidas pelos projetos.

A utilização da ferramenta dotProject com módulo adicional para importação e exportação de arquivos no padrão XML permitiu ao ambiente ENGESIS-PLM prover apoio parcial à disciplina gerenciamento de projetos em relação à execução, monitoramento e controle de projetos. Além disso, mostrou-se uma opção em relação às ferramentas proprietárias, proporcionando funcionalidades implementadas em código aberto para utilização na *Web*,

sendo possível o desenvolvimento de módulos adicionais de acordo com as necessidades de cada contexto de aplicação do ambiente ENGESIS-PLM.

O núcleo central de um ambiente PLM é composto pelos processos que formam a sua arquitetura. Esses processos precisam ser instanciados, executados e geridos durante a realização de um projeto real. Na construção do ambiente ENGESIS-PLM, a ferramenta BIZAGI Suite foi utilizada para atender a esse requisito de gestão e execução de algumas atividades dos processos.

O Bizagi Suite demonstrou grande potencialidade para implementação de algumas atividades do modelo de referência RTP em suas principais características. Ele permite a utilização de todas suas funcionalidades disponíveis, totalmente sem custo, por até 20 usuários simultâneos, possuindo uma fácil integração com outros sistemas. Além disso, com uma baixa curva de aprendizado para manutenção dos modelos criados, facilitou sua adaptação e ajustes em aplicações diversas nos contextos atendidos pelo ENGESIS-PLM.

A partir do projeto-piloto no qual o ENGESIS-PLM foi apresentado, demonstrou-se sua aplicação de maneira sistemática, evidenciando a sua capacidade de ser utilizado em um cenário real, para apoiar a evolução do projeto de pequenos satélites. O desenvolvimento contínuo e aplicação do ambiente ENGESIS-PLM exigirá a continuação das pesquisas e a escolha de diferentes ferramentas já existentes – e outros padrões abertos para comunicação entre sistemas – 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.

Em longo prazo, os benefícios do ambiente ENGESIS-PLM só serão alcançados se o complemento com outras ferramentas – como, por exemplo, mais ferramentas para apoio à disciplina de engenharia de sistemas – forem adicionados e integrados, visando à concepção e construção de um ambiente híbrido capaz de trabalhar simultaneamente e de forma interoperável com todas as questões envolvidas nas áreas de estudo individual. Após a aplicação

do ambiente ENGESIS-PLM, uma revisão foi realizada levando alguns resultados no sentido de melhoria contínua do ambiente de apoio para aplicação em estudos de caso adicionais no futuro.

Após a primeira execução da atividade de avaliação global, várias repetições deste procedimento podem ser realizadas até que seja assegurado o atingimento dos objetivos de análises iniciais estabelecidos para a avaliação satisfatória dos modelos especializados de processos componentes do ambiente de apoio ENGESIS-PLM, isto é, que seja completada a gestão do ciclo de vida do produto em desenvolvimento.

8.3. Síntese Comparativa entre o ENGESIS-PLM e PLM X-SME

O principal ponto em comum entre o *framework* proposto por Duigou et al. (2011) e o *framework* ENGESIS apresentado nesta pesquisa é a aplicação de técnicas de engenharia de sistemas para a análise e decomposição dos processos a serem modelados, no âmbito do domínio problema sendo tratado, que é a fase de *design* da engenharia de sistemas.

Com relação às funcionalidades do ambiente de apoio propriamente ditas, uma síntese comparativa das principais características entre estes dois tipos de sistemas pode ser vista na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 – Síntese Comparativa entre os ambientes ENGESIS-PLM e o X-SME.

CARACTERÍSTICAS		ENGESIS-PLM	X-SME
Mecanismos de apoio ao processo de desenvolvimento do produto e à gestão da produção (Colaboração e Integração)		Uso de sistema BPMS, dotProject	O gerenciamento de configuração e o *link* com o fornecedor
Mecanismos de auxílio aos processos do ciclo de vida da engenharia concorrente de sistemas	*Design* Gestão de Dados do Produto	Previsto para implementação futura, será acrescido utilizando um COT apropriado para lidar com PDM	O *link* com o CAD e ERP
	Gestão dos Processos de Produção	Uso das ferramentas SmartDraw e editor gráfico utilizando Gui do SimProcess	Não especificado
Técnicas para modelagem e execução dos processos de manufatura e produção		Uso das técnicas e ferramentas das disciplinas autônomas	Gestão de planos de processo e o indicador de custo
Ferramentas computacionais integradas no ambiente para gestão de Programas & Portfolio		Uso das ferramentas dotProject, experimentações e análises conduzidas com o simulador SimProcess	Não especificado
Simuladores associados (Simulação e Análise)		Uso do simulador SimProcess	Não especificado
Outros mecanismos de auxílio ao CVS		ProjectLibre, Bancos de Dados (Excel), Análise de Custo ABC, Verificação de Modelos de Processos, Transcrição entre modelos pelo JET-Conversor	Não especificado
Aderência do modelo de processos ao ciclo de vida da engenharia concorrente de sistemas		Adere totalmente	Não especificado
Funcionalidade / Componentes		Utilização componentes de *software* de baixo custo, *software* livre ou licenças acadêmicas	Possui funcionalidades integradas num só ambiente de acordo com seu fabricante

continua

Tabela 8.1– Conclusão		
Tipo de fabricante	Desenvolvimento com base em *softwares* existentes, denominados sistemas de prateleira - COTS	Utilização de *softwares* desenvolvidos por fabricantes comercias de grande porte, que projetam suas soluções voltadas a empresas de grande porte
Campos de aplicação	Organizações que realizam projetos de engenharia concorrente de sistemas de baixo custo e nível médio de complexidade, no desenvolvimento de produtos, serviços e processos envolvendo tecnologias avançadas	Empresas PMEs do ramo de manufatura, fabricantes de sistemas, partes e peças
Metodologias utilizadas	CT2P, *framework* ENGESIS	Método indutivo, modelagem *bottom-up* e *framework* genérico para uma rede de PMEs
Método para concepção dos macroprocessos	IDEF-0	IDEF-0

Fonte: Produção do autor.

9 CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS

O *framework* ENGESIS 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 (ESBM), Gerenciamento de Projetos (PM), Gestão de Processos de Negócios (BPM) e Modelagem de Simulação de Sistemas (SIM), de acordo com Kienbaum et al. (2016).

O escopo da pesquisa e sua aplicação, limitados às missões espaciais de pequenos satélites – e não no contexto de sistemas mais complexos – dá-se pelo fato de este segmento, a curto prazo, ser o que mais poderia se beneficiar pela utilização do *framework* ENGESIS e de seu ambiente de apoio ENGESIS-PLM propostos. Considerando-se que estes encontram-se em processo de evolução, testes em contexto mais simples são necessários, anteriormente a sua escalabilidade para aplicação em projetos de maior envergadura.

O objetivo proposto no trabalho foi atingido por meio da implementação do ambiente de apoio ENGESIS-PLM, como complemento fundamental ao *Framework* ENGESIS, dando o apoio computacional a ser utilizado na execução de projetos de desenvolvimento de pequenos satélites.

A GUI do SIMPROCESS, atuando como editor gráfico dos modelos RTP hierárquico e estendido de processos, permitiu a implementação gráfica dos modelos de referência de processos, facilitando o entendimento, a modelagem e a implementação dos modelos especializados pelas suas respectivas equipes encarregadas. Os modelos RTP hierárquico e estendido podem ser verificados quanto à sua consistência lógica, auxiliando as equipes na consolidação, por exemplo, a alocação dos recursos nas atividades, e validação destes modelos especializados.

A implementação do ambiente ENGESIS-PLM permitiu a automatização de algumas atividades relacionadas com a implementação dos modelos

especializados, que anteriormente eram executadas de forma manual e independente na aplicação do *framework* ENGESIS.

No tocante à integração e interoperabilidade entre sistemas, foi criado um aplicativo denominado Jet-Conversor, cuja principal funcionalidade é a conversão dos modelos de processos RTP (T-XPDL) em arquivos com formatos abertos de comunicação (XPDL, CSV, XML) que possibilita a importação dos modelos pelos componentes do tipo COTS e posteriores ajustes.

Atualmente, o módulo Jet-Conversor, componente do ambiente ENGESIS-PLM, foi desenvolvido para atender apenas à primeira etapa de conversão dos modelos, denominada bricolagem, conforme sugerida na metodologia CT^2P. Isto é feito de forma unidirecional, transformando o modelo de referência descrito em T-XPDL para os diversos padrões supracitados. Com isto, evita-se a criação manual dos modelos especializados em cada uma de suas respectivas ferramentas.

A segunda etapa da fase de desenvolvimento dos modelos, que consiste na implementação dos modelos especializados, pode ocasionar modificações que impactem no modelo de referência. Atualmente, essas modificações necessitam ser editadas diretamente na interface gráfica do SIMPROCESS. Em trabalhos futuros, pretende-se que os modelos especializados modificados por cada equipe utilizando suas respectivas ferramentas possam ser exportados para fins de transcrição para o formato T-XPDL por meio de módulo adicional do Jet-Conversor, permitindo sua importação direta pela GUI do SIMPROCESS.

No que diz respeito ao gerenciamento do projeto, foi desenvolvida e integrada uma interface para importação/exportação do modelo de processos RTP ao sistema dotProject, por meio de arquivos no formato XML, permitindo a importação dos dados principais do projeto, possibilitando sua complementação com o uso das funcionalidades disponíveis no sistema,

permitindo a execução, o monitoramento e o controle do projeto por meio da *Web*.

Com relação à modelagem, implementação, execução, monitoramento e controle e gestão automática dos processos do ciclo de vida do sistema, foi implementado um módulo de conversão do modelo RTP para o formato XPDL no aplicativo Jet-Conversor, permitindo a importação pelo BIZAGI Modeler das principais características do modelo hierárquico de processos, permitindo os ajustes e manutenções necessários, diminuindo significativamente a carga de desenvolvimento manual do modelo para gestão de processos.

Após a fase de bricolagem supradescrita, foi possível demonstrar as potencialidades da ferramenta BIZAGI Suite para a automatização dos processos do ciclo de vida do sistema. Para isto, algumas das principais atividades dos processos foram implementadas, com o seu modelo de dados e respectivos formulários de interfaces de usuários.

O ambiente BIZAGI Suite permitiu a criação de um aplicativo *web* capaz de executar automaticamente os processos selecionados do ciclo de vida do sistema, para fins de monitoramento, controle e gestão. Com isto, tornou-se possível demonstrar a coleta automática de dados pelo sistema para fins de avaliação da sua performance, documentação e melhoria contínua destes processos.

Os modelos RTP hierárquico e estendido de processos poderão ser usados para a elaboração de projetos de experimentos que possibilitem análises das durações de segmentos ou do ciclo de vida completo dos processos, taxa de ocupação dos recursos, análise de custeio baseado em atividades e outros indicadores gerais de performance.

Os experimentos poderão ser definidos por cada uma das equipes especializadas, visando à sua área de interesse. Por exemplo, a gerência de projetos poderia estar interessada na determinação do caminho crítico, o que seria facilitado pelo uso da simulação.

Em trabalhos futuros, a implementação de novos padrões de comunicação entre sistemas poderá ser feita para se expandir as funcionalidades do Jet-Conversor – principal componente do ambiente ENGESIS-PLM – de maneira a fornecer apoio a um número maior de ferramentas, permitindo a aplicação do ambiente em outros contextos exigidos pelas PMET-Orgs.

Novas ferramentas para apoio à disciplina de engenharia de sistemas podem ser exploradas a fim de prover uma maior aderência ao ambiente ENGESIS-PLM e aos ambientes das PMET-Orgs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PRODUCTIVITY AND QUALITY CENTER (APQC). **Process classification framework (PFC)**. Disponível em: <https://www.apqc.org/pcf>. Acesso em: 15 out. 2015.

ANSELMI, I.; ANTTI, S. **Product lifecycle management.** Berlin: Springer, 2004.

ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS (ABPMP). **Guide to the business process management common body of knowledge**. v. 2.0 (BPM CBOK), 2009. Disponível em: <http://www.abpmp.org>. Acesso em: 06 jul. 2016.

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. Disponível em: <http://www.bkcase.org/sebok/>. Acesso em: 15 out. 2015.

BIZAGI. **BPM suite overview**. Disponível em: <http://www.bizagi.com/en/bpm-suite>. Acesso em: 15 out. 2015.

CACI INC. FEDERAL. **Simprocess** - product overview and user´s manual. Release 5.2. 2015. Disponível em: <http://simprocess.com/about-SIMPROCESS/SIMPROCESS-documentation/>. Acesso em: 15 out. 2015.

CAPÓ-LUGO, P. A.; BAINUM, P. M. **Orbital mechanics and formation flying**: a digital control perspective. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2011.

CIMDATA. **All About PLM.** Disponível em: <http://www.cimdata.com/en/resources>. Acesso em: 15 jul. 2016.

COCKBURN, A. **Escrevendo casos de uso eficazes**. Tradução: Roberto Vedoato. Porto Alegre: Bookman, 2005.

DAVENPORT, T. H. **Reengenharia de processos**. Tradução: Waltensir Dutra. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

DOTPROJECT. **The home of dotProject** - the open source project management tool. Disponível em: <http://www.dotproject.net>. Acesso em: 26 set. 2016.

DUIGOU, J. L.; BERNARD, A.; PERRY, N. Framework for product lifecycle management integration in small and medium enterprises networks. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 8, n. 4, p. 531-544, 2011.

DURAI, S. **Industry requirements and the benefits of product lifecycle management**. 2006. 140 p. MSc Thesis (Degree of Master of Science) - School of Industrial & Manufacturing Science. Department of Manufacturing, Cranfield University, 2006. Disponível em: <http://www.openthesis.org/documents/Industry-requirements-benefits-product-lifecycle-499020.html>. Acesso em: 19 jun. 2016.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **Space project management**. Project planning and implementation. ECSS-M-ST-10C_Rev. Third issue, 2008.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **Space engineering**. Systems engineering general requirements. ECSS-E-ST-10C. Third issue, 2009.

ENGESIS. Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq. About ENGESIS, 2010. Disponível em: <http://dgp.cnpq.br/dgp/faces/consulta/consulta_parametrizada.jsf>. Acesso em: 26 jun. 2015.

EIGNER, M.; STELZER, R. **Product life cycle management**. Ein Leitfaden fur Product Development und Life Cycle Management. Berlin: Springer, 2009. 429 p. ISBN 978-3540-44373-5. Disponível em: <http://www.springer.com/us/book/9783540443735>. Acesso em: 17 jul. 2016.

FERNANDEZ, R. **Engesis** - um framework transdisciplinar orientado a processos para apoio à fase de design da engenharia concorrente em missões espaciais. versão: 2016-10-21. 236 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3M944JH>. Acesso em: 17 nov. 2016.

FERNANDEZ, R.; KIENBAUM, G. S.; SILVA, E. K. T. Using simulation modeling to create transdisciplinary process models and to build basic PLM tools to support the systems engineering lifecycle. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN SYSTEM SIMULATION (SIMUL), 7, Barcelona, Spain, 2015. **Proceedings…** Barcelona, Spain: IARIA, 2015

FERNANDEZ, R.; KIENBAUM, G. S.; SILVA, E. K. T.; AUGUSTO NETO, A. **T-PROST**: a transdisciplinary process modelling methodology and its application to the systems engineering lifecycle in space missions. In: 2. IAA Latin American CubeSat Workshop. IAA 2016, 2016. Florianopolis, Brazil.

GRIEVES, M. **Product lifecycle management:** driving the next generation of lean thinking. United States of America: McGraw-Hill, 2006.

IMB PLM Solutions. Disponível em: <http://www-01.ibm.com/*software*/info/plm/solutions/index.jsp>. Acesso em: 12 abr. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Nanossatélite AESP14**: plano de gerenciamento de projeto. LIT21-AESP14-ES-007, 2014. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2014/05/016-021_CAPA_nanosatelite_219-NOVO1.pdf?>. 202ea3

KIENBAUM, G. S. 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, v. 2, p. 1033-1044, 2012. Disponível em: <http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2012/11.28.14.40.58/doc/CE2012.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2016.

KIENBAUM, G. S. **A framework for process science and technology and its application to systems concurrent engineering**. São José dos Campos: INPE, 2015. Technical Report. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KG6NB5>. Acesso em: 29 out. 2015.

KIENBAUM, G. S. **A framework for process science and technology and its application to systems concurrent engineering**. Leicestershire: Loughborough University, 2015. 61 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/11.24.12.22-Relatório Técnico). Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KLCSES>. Acesso em: 17 nov. 2016.

KIENBAUM, G. S. et al. An environment to support PLM in small satellites project development. In: LATIN AMERICAN IAA CUBESAT WORKSHOP, 2, 2016, Florianopolis, Brazil. **Proceedings**… IAA, 2016.

KRAMER, H. J.; CRACKNELL, A. P. An overview of small satellites in remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**. v. 29, n. 15, p. 4285–4337, aug. 2008. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431160801914952>. Acesso em: 04 jun. 2016.

KAY, M. **XSLT Referência do Programador**. 2. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2002.

LOOY, Amy Van; BACKER, Manu De; POELS, Geert. A conceptual framework and classification of capability areas for business process maturity. **Enterprise Information Systems**, v. 8, n. 2, p. 188-224, 2014.

MODEL-BASED SYSTEM ENGINEERING (MBSE). Disponível em: <http://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php>. Acesso em: 22 fev. 2016.

PIDD, M. **Computer simulation in management science**. 3. ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1992.

MICROSOFT PROJECT - **Software.** Disponível em: <https://products.office.com/pt-br/project/project-and-portfolio-management-*software*/2013.10.10>. Acesso em: 22 fev. 2016.

MICROSOFT VISUAL STUDIO EXPRESS 2015 – **Software***.* Disponível em: <https://www.visualstudio.com/vs/visual-studio-express/>. Acesso em: 15 mai. 2016.

NASA. **Systems engineering handbook, 2007**. Disponível em: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080008301.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2016.

OBJECT MANAGEMENT GROUP (OMG). **Business Process Maturity Model (BPMM)** – v. 1.0., 2008. Disponível em: <http://www.omg.org/spec/BPMM/>. Acesso em: 26 jul. 2014.

OBJECT MANAGEMENT GROUP (OMG). **Business Process Modelling Notation** – v. 2.0., 2011. Disponível em: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>. Acesso em: 26 jul. 2014.

PROJECTLIBRE. **User guide** - Version 0.3.3. Disponível em: <http://www.projectlibre.org/>. Acesso em: 23 out. 2015.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **A Guide to the Project Management Body of Knowledge** (PMBOK® Guide). 5. ed. Newton Square: Project Management Institute, 2013.

SCHUH, G. **Produktkomplexität managen**: strategien – methoden – tools. 2. ed. Hanser, Mu¨nchen, 2005. Disponível em: <https://www.amazon.de/Produktkomplexit%C3%A4t-managen-Strategien-Methoden-Tools/dp/3446400435>. Acesso em: 19 jun. 2016.

SCHUH, G. et al. Process oriented framework to support PLM implementation. **Computers in Industry**, v. 59, p. 210–218, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361507001042>. Acesso em: 19 jun. 2016.

SHAFRANOVICH, Y. **Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files** - Request for Comments (RFC 4180). SolidMatrix Technologies Inc., 2005. Disponível em: <https://tools.ietf.org/html/rfc4180#page-2>. Acesso em: 12 jun. 2016.

SIEMENS. **PLM software**. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com>. Acesso em: 22 abr. 2016.

SILVA, E. K. T. et al. **An environment to support PLM in small satellites project development**. 2. IAA Latin American CubeSat Workshop. IAA 2016, Florianopolis, Brazil, 2016.

SILVA, L. A.; KIENBAUM, G .S.; LOUREIRO, G.; TANIK, M. M. 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. Jeju Island South Korea. **Proceedings...** 2011. Disponível em: <http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/06.11.14.52/doc/SDPS2011.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2016.

SMARTDRAW. **Software**. Disponível em: <http://www.smartdraw.com/downloads/>. Acesso em: 22 abr. 2016.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. 8. ed. São Paulo: Pearson Education, 2007.

SOTO-ACOSTA, P.; PLACER-MARURI, E.; PEREZ-GONZALES, D. A case analysis of a product lifecycle information management framework for SMEs. Elsevier, **International Journal of Information Management**, n.36, p. 240–244, 2016.

STARK, J. **Product LifeCyCle management:** 21st Century paradigm for product realisation. 2. ed. London: Springer, 2011.

VIEIRA, D. R.; BOURAS, A.; DEBAECKER, D. **Gestão de projeto do produto**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

ZANCUL, E. S. **Gestão do ciclo de vida de produtos**: seleção de sistemas PLM com base em modelos de referência. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

WORKFLOW MANAGEMENT COALITION (WFMC). **Workflow management coalition workflow standard -** process definition interface **-** XML process definition language. USA, 2005. Disponível em: <http://www.wfmc.org>. Acesso em: 26 jun. 2016.

APÊNDICE A – SURVEY DE ARTIGOS ACADÊMICOS

Com o objetivo de construir cenários diferenciados para o projeto-piloto, foi analisado um conjunto de artigos acadêmicos da área espacial, relacionados a pequenos satélites, conforme descrito na Tabela A.1.

Tabela A.1 – *Survey* de artigos acadêmicos para construção de cenários do projeto-piloto.

NOME DO ARTIGO ACADÊMICO	AUTORES	ANO
A Space Standard Application to University-Class Microsatellites: The UNISAT experience	Filippo Graziani Fabrizio Piergentili Fabio Santoni	2009
Flight results of the COMPASS-1 picosatellite mission	A. Scholz W.Ley B.Dachwald	2010
CubeSat: A new Generation of Picosatellite for Education and Industry Low-Cost Space Experimentation	Hank Heidt Jordi Puig-Suari Augustus S. Moore	2000
TUGSAT-1/BRITE-Austria - The first Austrian nanosatellite	O. Koudelka G. Egger B. Josseck	2009
Design of Tokyo Tech nano-satellite Cute-1.7 + APD II and its operation	Hiroki Ashida Kota Fujihashi Shinichi Inagawa	2010
Evolution from education to practical use in University of Tokyo's nano-satellite activities	Shinichi Nakasuka Nobutada Sako Hironori Sahara	2010
Design of the fault tolerant command and data handling subsystem for ESTCube-1	Kaspars Laizans Indrek Sünter Karlis Zalite	2014
NanoSpace-1: The impacts of the first Swedish nanosatellite on spacecraft architecture and design	Fredrik Bruhn Johan Kohler Lars Stenmark	2003
A satellite for demonstration of Panel Extension Satellite (PETSAT)	Yoshiki Sugawara Hironori Sahara Shinichi Nakasuka	2008
Status and trends of small satellite missions for Earth observation	Rainer Sandau	2010
Mission results for Sapphire, a student-built satellite	Michael Swartwout Christopher Kitts Robert Twiggs	2008
A CubeSat catalog design tool for a multi-agent architecture development framework	Monica Jacobs Daniel Selva	2015

continua

continuação		
A Survey of Camera Modules for CubeSats – Design of Imaging Payload of ICUBE-1	Khurram Khurshid Rehan Mahmood Qamar ul Islam	2013
NOME DO ARTIGO ACADÊMICO	AUTORES	ANO
Design of the fault tolerant command and data handling subsystem for ESTCube-1	Kaspars Laizans Indrek Sünter Karlis Zalite	2014
E-sail test payload of the ESTCube-1 nanosatellite	Jouni Envall Pekka Janhunen Petri Toivanen	2014
Large membrane “Furoshiki Satellite” applied to phased array antenna and its sounding rocket experiment	Shinichi Nakasuka Ryu Funase Kenji Nakada	2006
A survey and assessment of the capabilities of Cubesats for Earth observation	Daniel Selva David Krejci	2012
Cubesats: Cost-effective science and technology platforms for emerging and developing nations	Kirk Woellert Pascale Ehrenfreund Antonio J. Ricco	2011
EDA solutions to new-defect detection in advanced process technologies	Erik Jan Marinissen Gilbert Vandling Sandeep Kumar Goel	2015
Optimizing an infrared camera for observation of atmospheric gravity waves from a CubeSat platform	Rønning, S.S. Bakken, M. Birkeland, R.	2015
Satellite ground station emulator: an architecture and implementation proposal	D. Schor W. Kinsner A. Thoren	2009
ESTCube-1 nanosatellite for electric solar wind sail in-orbit technology demonstration	Silver Latt Andris Slavinskis Erik Ilbis	2014
conclusão		

Fonte: Fernandez (2016).

Uma síntese desta pesquisa é apresentada em uma planilha Excel - cujas colunas estão descritas a seguir - que pode ser acessada por meio do Google Drive a partir da URL - <https://drive.google.com/open?id=0B0pZSTt3aC-bUXdteENRb0hEMUU>.

Todos os artigos acadêmicos utilizados para a pesquisa de pequenos satélites encontram-se disponíveis no diretório REFERENCES / SMALLSATS / NEW REFERENCES no <www.dropbox.com> do grupo de trabalho ENGESIS (FERNADEZ, 2016).

APÊNDICE B – GUIA PARA APLICAÇÃO DO ENGESIS-PLM

Este item tem por objetivo descrever os passos para aplicação do ambiente ENGESIS-PLM em estudos de caso.

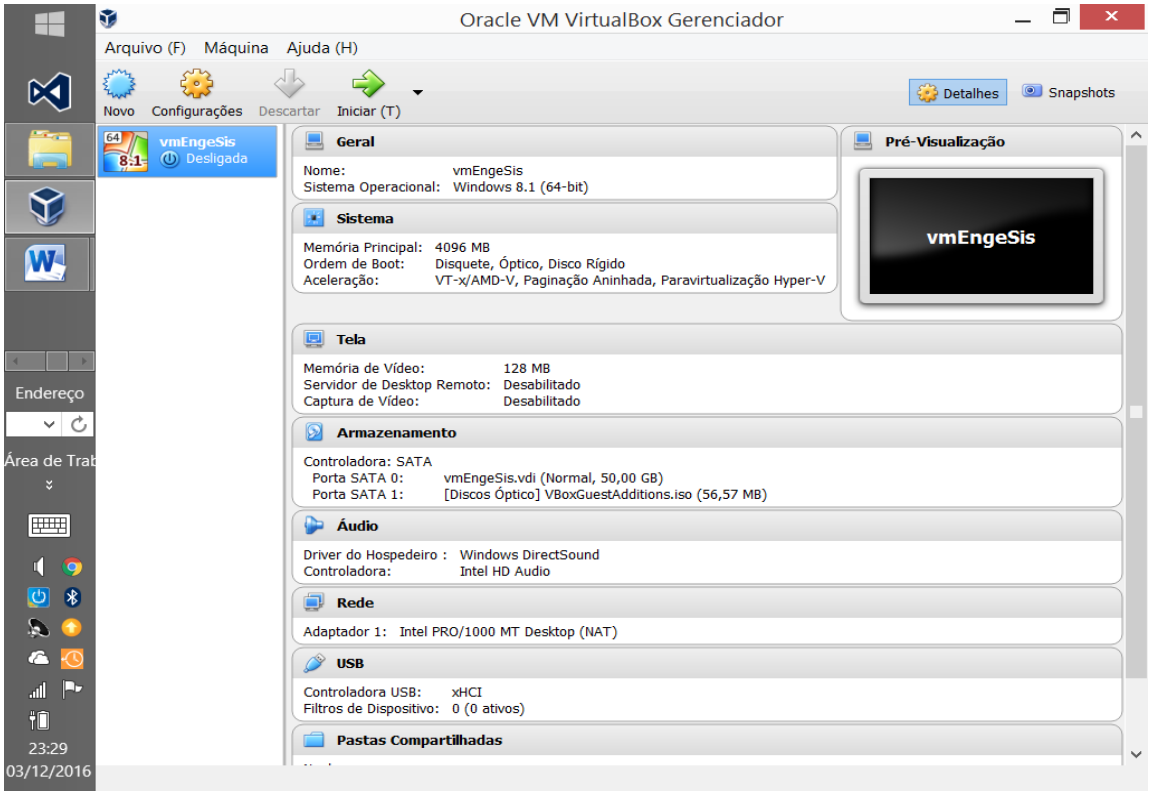
O primeiro passo será realizar o download e instalação do *software* VirtualBox, no endereço <https://www.virtualbox.org>, conforme descrito na Figura B.1. O sistema é totalmente gratuito e de fácil utilização. Ele será responsável pela execução da máquina virtual vmEngeSis.

Figura B.1 – Download do Sistema VirtualBox.

Fonte: Produção do autor.

A máquina virtual vmEngeSis foi configurada com o sistema operacional Windows 8.1 Pro, processador de 64 bits e 4MB de memória Ram, conforme descrito na Figura B2.

Figura B.2 – Configuração da Máquina Virtual vmEngeSIs.

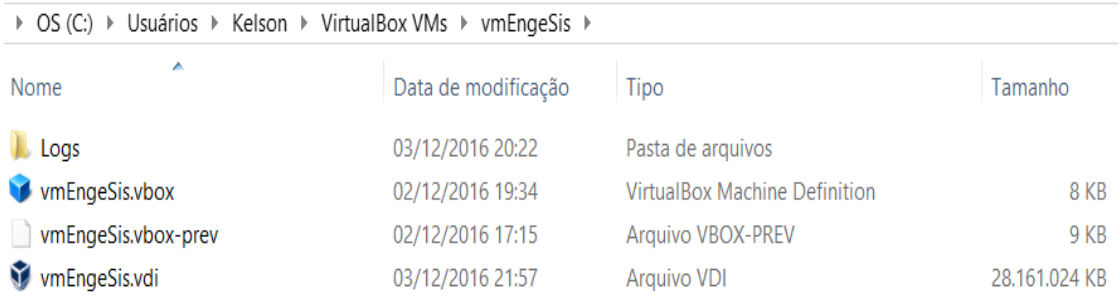


Fonte: Produção do autor.

Para utilização da máquina virtual vmEngeSis, será necessário um equipamento com mesmo processador e com 8GB de memória RAM. Sem esta configuração mínima, o VirtualBox não conseguirá efetuar a carga da vmEngeSis, ocasionando o travamento do *software*.

Os arquivos que compõem a máquina virtual estão armazenados dentro da pasta vmEngeSis, disponibilizada conforme descritos na Figura B.3. A pasta vmEngeSis com todo o seu conteúdo deve ser copiada para unidade C:\ do computador destino no qual o ambiente será configurado.

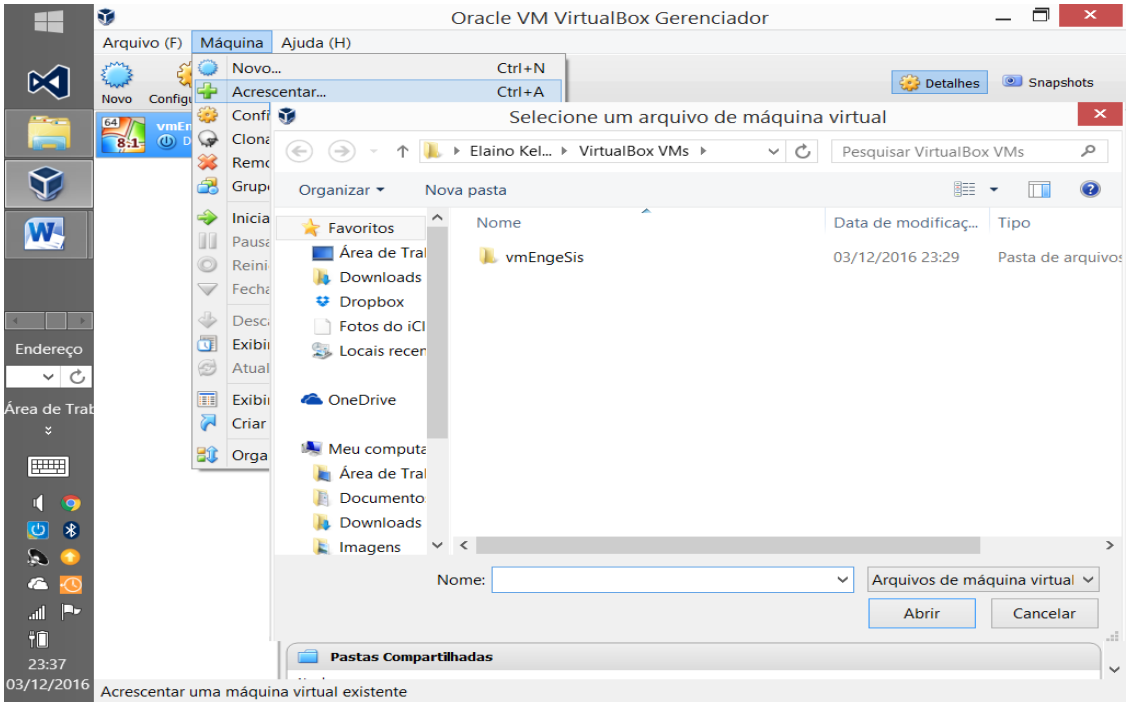
Figura B.3 – Estrutura de Arquivos da Máquina virtual vmEngeSIs.



Fonte: Produção do autor.

Finalizando a cópia da pasta vmEngeSis para máquina em que o ambiente será executado, o *software* Virtualbox deverá ser iniciado. Seguindo, com o sistema já carregado, clicar com o mouse na opção “+ Acrescentar” existente no menu principal do aplicativo, que permitirá adicionar a máquina virtual a ser executada pelo Virtualbox. Uma tela para selecionar a máquina virtual, que está na pasta vmEngeSis será apresentada. Selecione a pasta com os arquivos da máquina virtual e clique no botão <Abrir>, para que o carregamento seja efetuado, conforme apresentado na figura B.4.

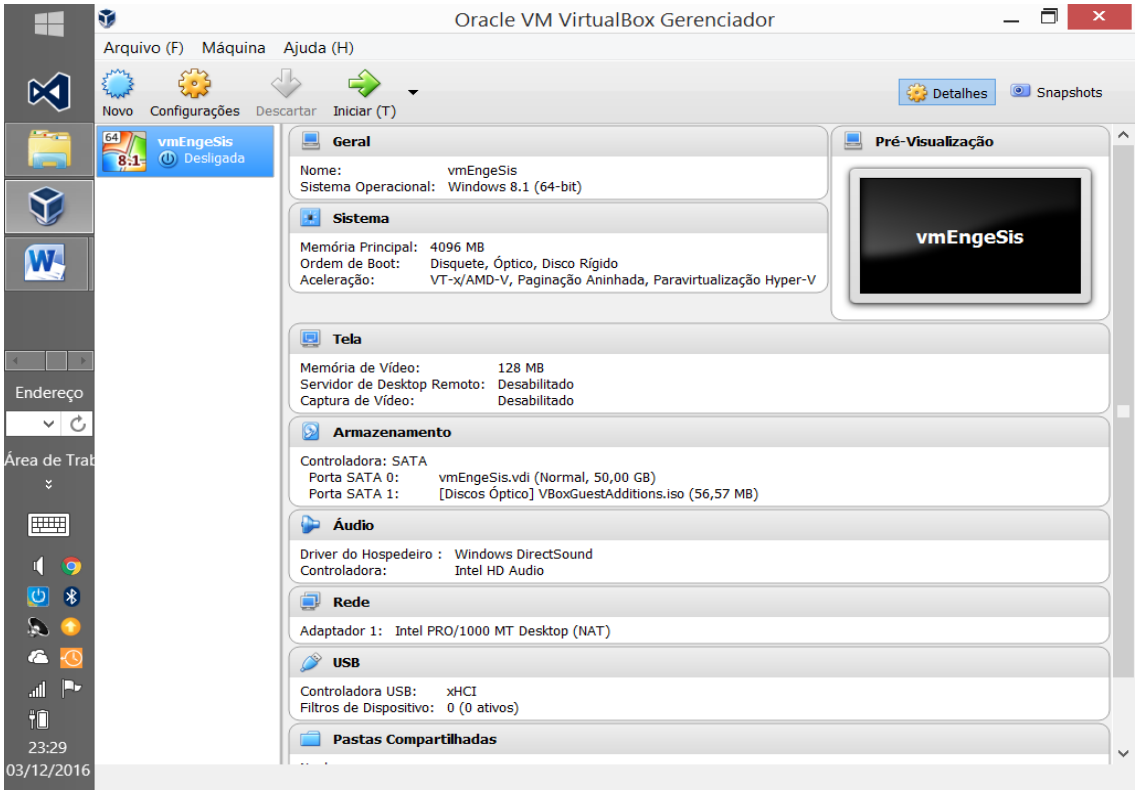
Figura B.4 – Carregando a Máquina Virtual vmEngeSIs.



Fonte: Produção do autor.

Após o carregamento da máquina virtual, clicar no botão <Iniciar> para que esta seja inicializada e disponibilizada para uso. É possível ainda realizar ajustes na configuração da máquina virtual visando a adequações ao computador que irá rodá-la, clicando no botão <Configurações>, conforme descrito na Figura B.5.

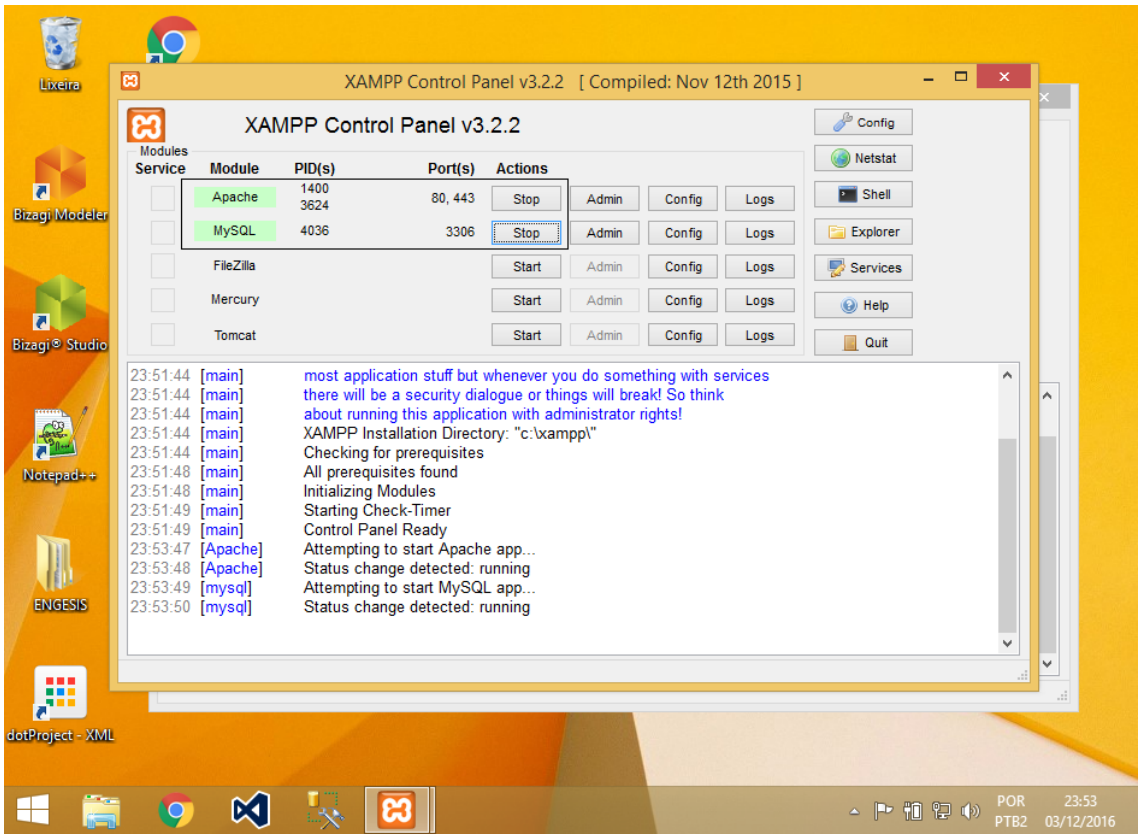
Figura B.5 – Iniciando a Máquina Virtual vmEngeSis.



Fonte: Produção do autor.

Após a inicialização da vmEngeSis, o passo seguinte consiste em preparar o ambiente para rodar o aplicativo *web* dotProject, que será utilizado na execução e gestão dos projetos. Primeiramente, o usuário deverá clicar no ícone do aplicativo Xampp existente na área de trabalho da VmEngeSis, para que o seu carregamento seja efetuado. O Xampp é responsável por disponibilizar o servidor de aplicações Apache e servidor de banco de dados MySQL, necessários para o funcionamento do aplicativo dotProject. Conforme descrito na Figura B.6, com o aplicativo Xampp já carregado, basta clicar nos botões <Start> das opções Apache e MySql para que os servidores sejam iniciados.

Figura B.6 – Iniciando os Servidores Apache e MySQL no Xampp.



Fonte: Produção do autor.

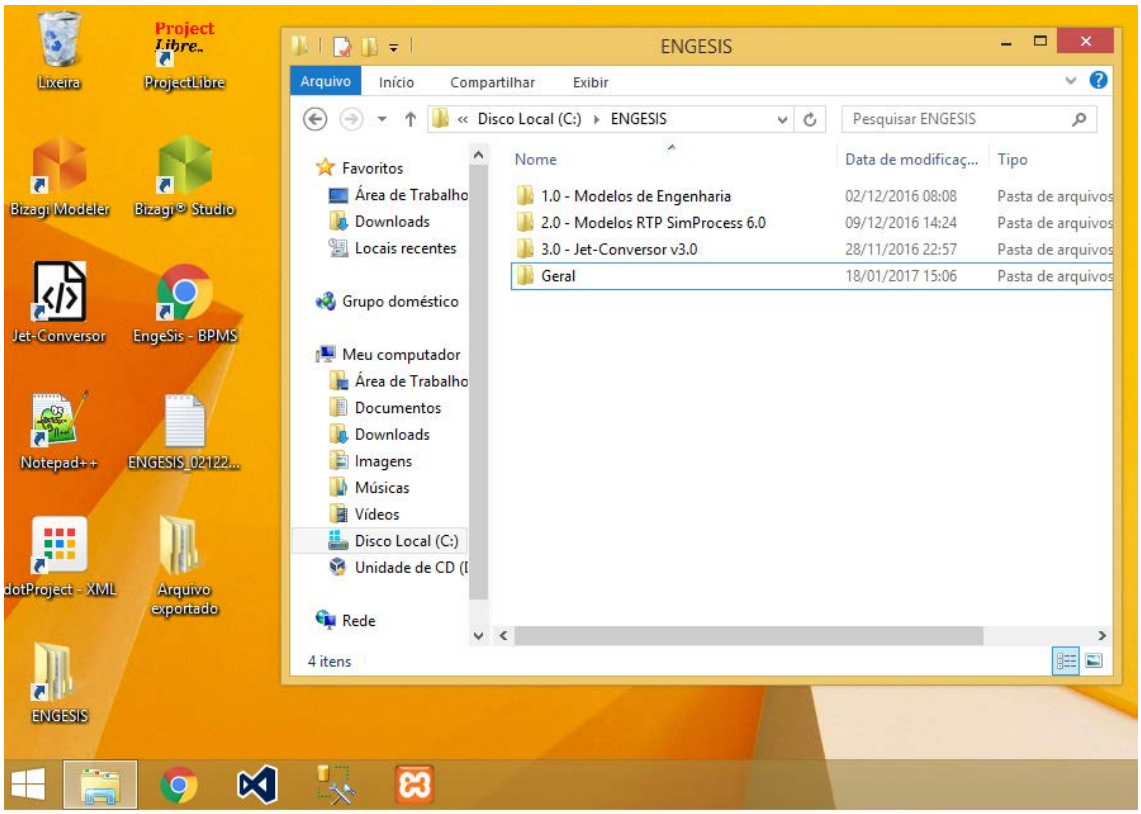
Para prosseguir na aplicação e testes do ambiente, foi criada uma pasta denominada “ENGESIS”, localizada na unidade “C:\”, com a estrutura descrita conforme Figura B.7.

a) Na pasta “1.0 – Modelos de Engenharia” estão armazenados os modelos gerados em SmartDraw e IDEF-0.

b) Na pasta 2.0 – “Modelos RTP SimProcess 6.0” estão armazenados os modelos RTP “spm” gerados pela GUI do SimProcess e os respectivos arquivos exportados pela ferramenta em formato XPDL que serão lidos pelo Jet-Conversor.

c) Na pasta 3.0 - Jet-Conversor v3.0 encontram-se os arquivos-fontes e os do projeto, que podem ser acessados através do aplicativo Visual Studio 2013 Express, disponível na vmEngeSis.

Figura B.7 – Estrutura da Pasta ENGESIS para uso do Ambiente.



Fonte: Produção do autor.

d) Na pasta Geral – encontram-se, em uma subpasta “4.0 - Modelo ProjectLibre”, alguns arquivos do modelo em formatos que podem ser lidos e testados pelo aplicativo ProjectLibre. Na subpasta “5.0 - Modelo BizAgi” estão os arquivos do modelo da fase de *design* já com ajustes finais em formato .bpm, que podem ser lidos e modificados através do aplicativo BizAgi modeler. Para finalizar, nesta pasta Geral existe ainda uma subpasta intitulada “Documentos da missão”, que possui informações básicas de uma missão, para serem utilizadas como insumos nos testes do modelo de processos automatizado que será executado pelo sistema BizAgi Suite.

O próximo passo para utilização do ambiente é a execução do aplicativo Jet-Conversor, utilizado para transcrição do arquivo RTP, exportado pela GUI SimProcess em formato XPDL, para as opções de padrões abertos disponíveis no aplicativo conforme descrito na Figura B.8.

Figura B.8 – Interface do Jet-Conversor.

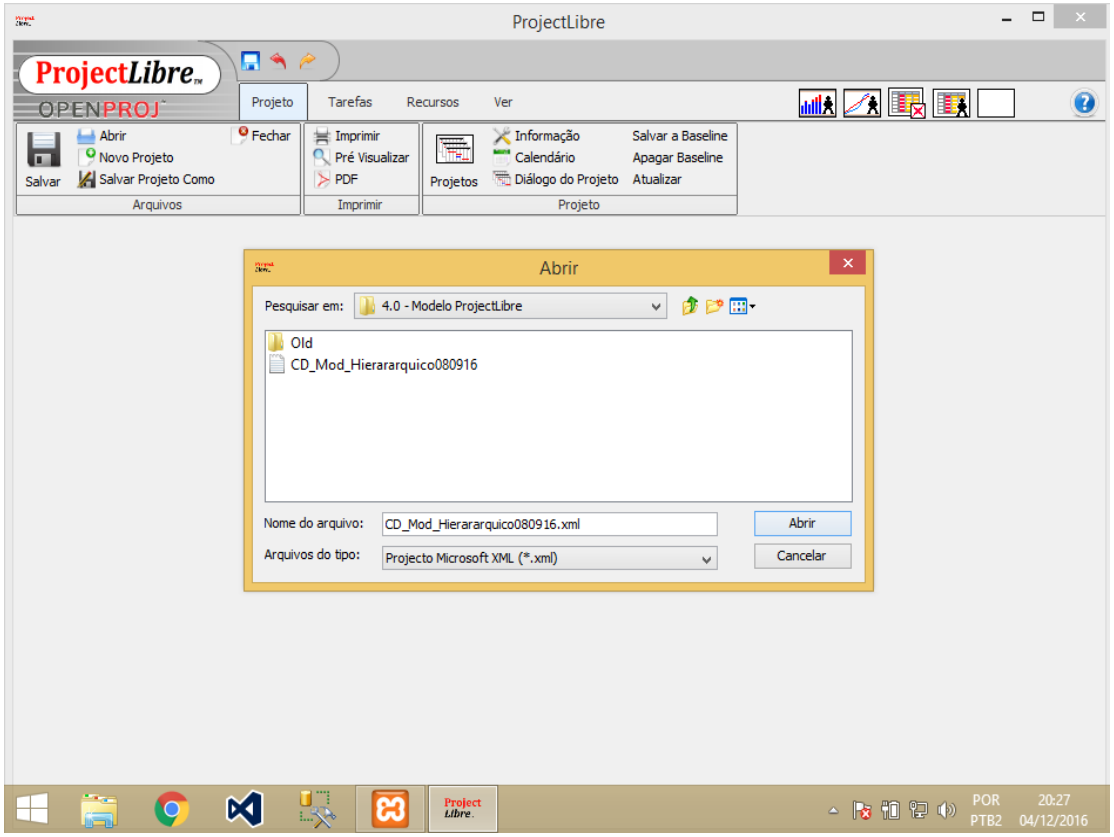
Fonte: Produção do autor.

Com o aplicativo já carregado, o usuário deverá clicar no botão <Selecionar>, buscar pela pasta “C:\ENGESIS\Modelos RTP SimProcess 6.0\” e escolher o arquivo RTP a ser convertido. Após a escolha do arquivo, selecionar o formato

de exportação a ser utilizado, e por fim, clicar no botão <Exportar> para que o arquivo seja criado.

Após criar os arquivos nos formatos XPDL, XML e CSV, o passo seguinte será carregar a ferramenta ProjectLibre, e, no seu menu principal, clicar na opção <Abrir>, de modo que uma interface será apresentada para selecionar o local em que o arquivo RTP foi criado pelo Jet-Conversor, em formato XML, conforme descrito na Figura B.9. Após a importação do arquivo, deverá ser efetuada a bricolagem do modelo especializado de Gerência de Projetos, realizando os ajustes e as adequações necessárias.

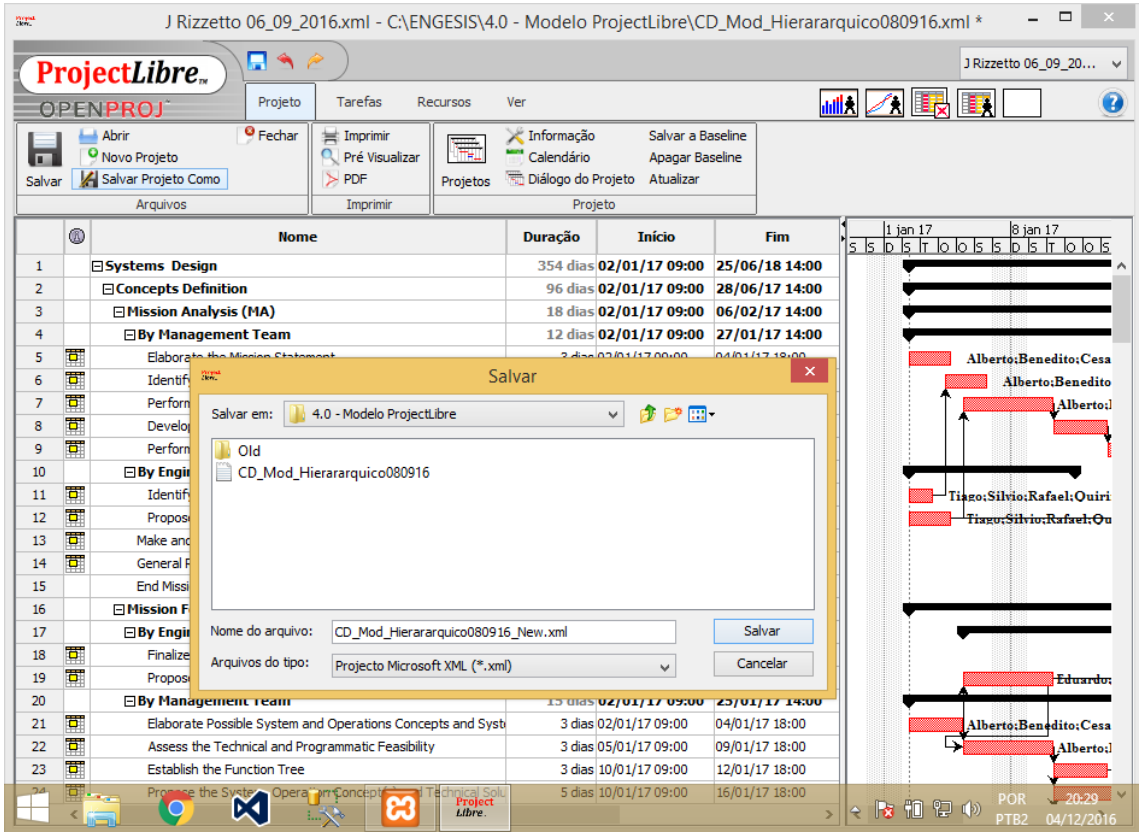
Figura B.9 – Interface do ProjectLibre – Abrir Arquivo XML.



Fonte: Produção do autor.

Após os ajustes realizados no modelo, no menu principal do ProjectLibre, clicar na opção <Salvar Projeto Como> e salvar o arquivo selecionando o formato XML, conforme descrito na Figura B.10.

Figura B.10 – Interface do ProjectLibre – Salvar Arquivo XML.

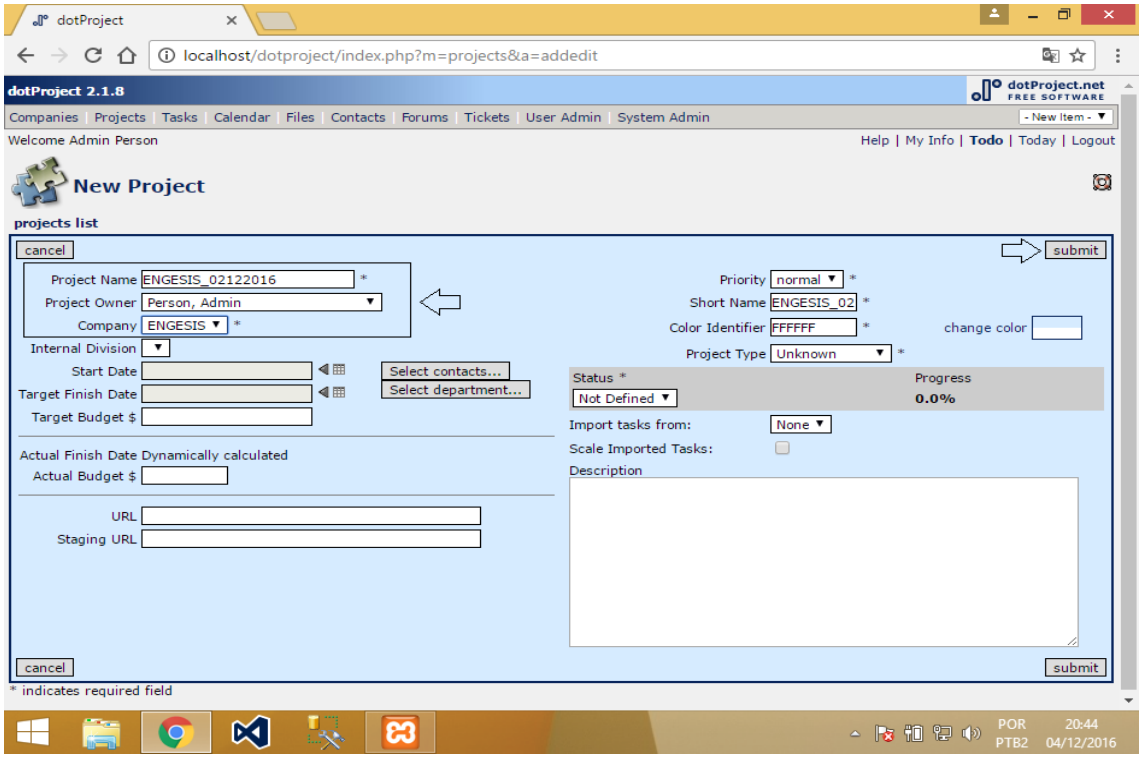


Fonte: Produção do autor.

Após salvar o arquivo, este estará disponível para ser importado pelo aplicativo dotProject, a fim de prover a execução do modelo de Gerenciamento de Projetos.

No passo seguinte, a ferramenta dotProject deverá ser iniciada, efetuar login utilizando o usuário - “admin” e senha - “password”, este é o usuário administrador e possibilitará o acesso a todas as funcionalidades disponíveis no sistema. Após o login, no menu principal, clicar na opção “Projects” e selecionar a opção “new project”, conforme descrito na Figura B.11, possibilitando a criação de um novo projeto para receber as tarefas que compõem a estrutura de processos do modelo RTP, e que serão importadas para o dotProject por meio da leitura do arquivo XML criado anteriormente pelo ProjectLibre.

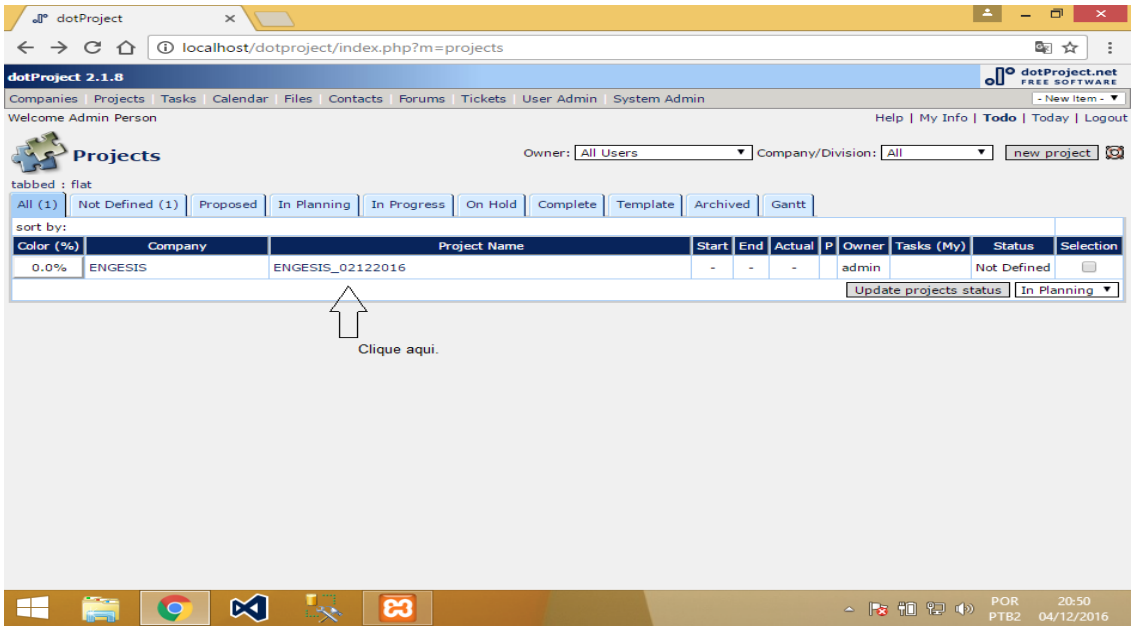
Figura B.11 – Interface do dotProject – Criar Projeto.



Fonte: Produção do autor.

Posteriormente, o projeto deverá ser selecionado conforme descrito na Figura B.12.

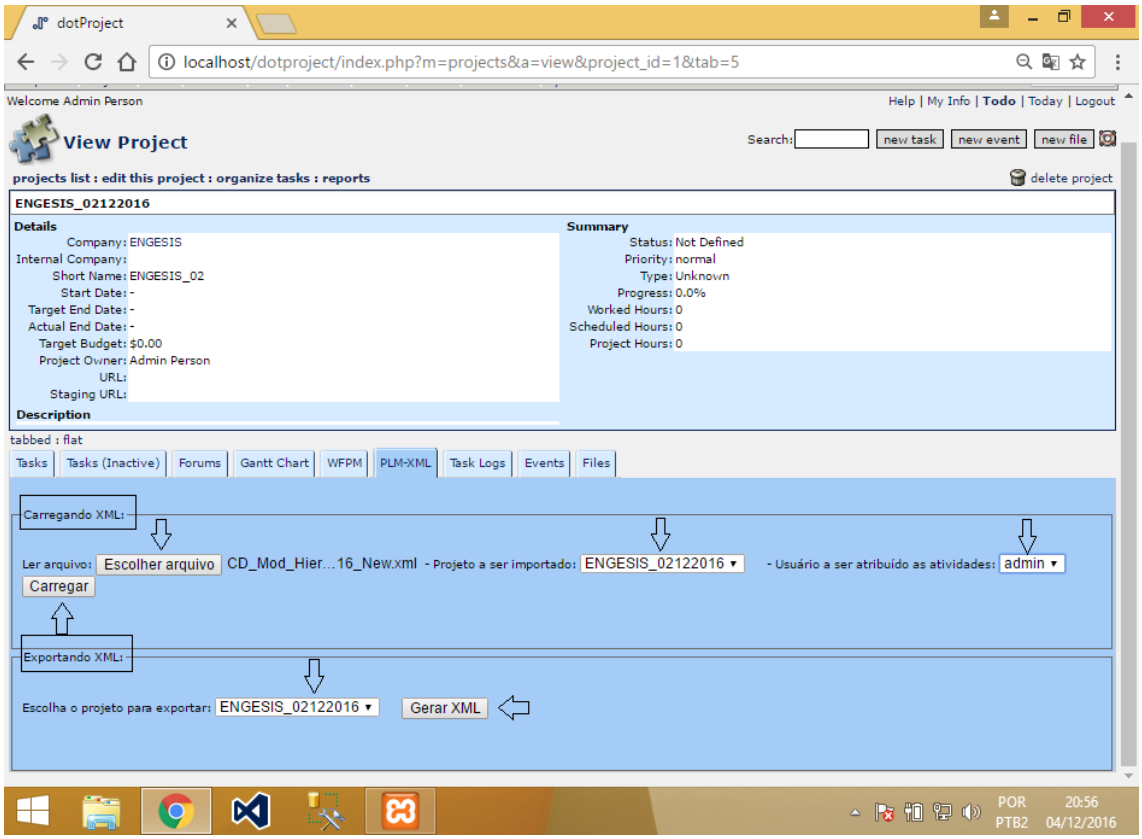
Figura B.12 – Interface do dotProject – Selecionar Projeto.



Fonte: Produção do autor.

Após selecionar o projeto, conforme supradescrito, no módulo adicional <PLM-XML>, desenvolvido pelo autor, o arquivo XML será selecionado e importado pelo dotProject, conforme descrito na Figura B.13.

Figura B.13 – Interface Adicional do dotProject – Importar/ Exportar XML.

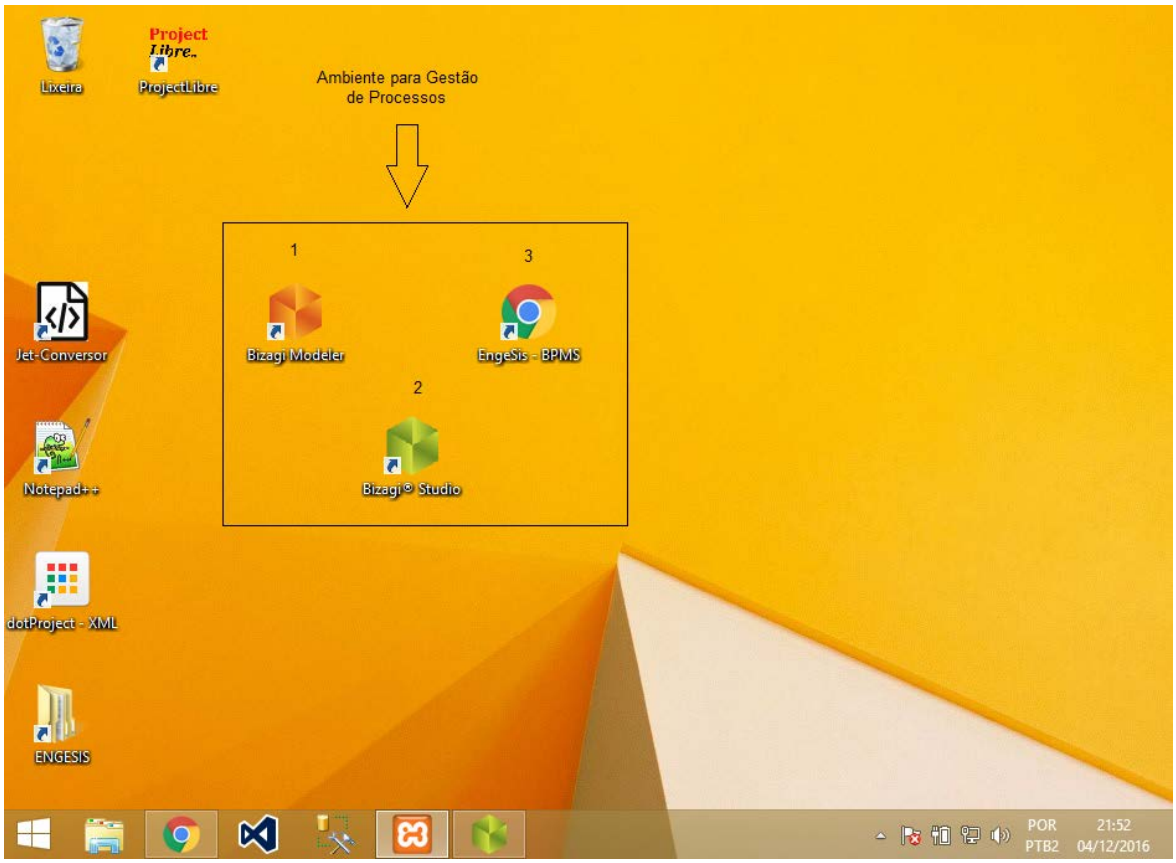


Fonte: Produção do autor.

Caso sejam necessárias alterações nas atividades/tarefas através do ambiente dotProject, o usuário poderá realizar exportação destes dados para um novo arquivo XML, que poderá ser lido novamente pelo ProjectLibre, clicando no botão <Gerar XML>, conforme descrito na Figura B.13.

A seguir serão apresentados os passos para execução do modelo da fase de *design* na visão da disciplina Gestão de Processos, por meio dos aplicativos BizAgi Modeler e BizAgi Suite, conforme descrito na Figura B.14.

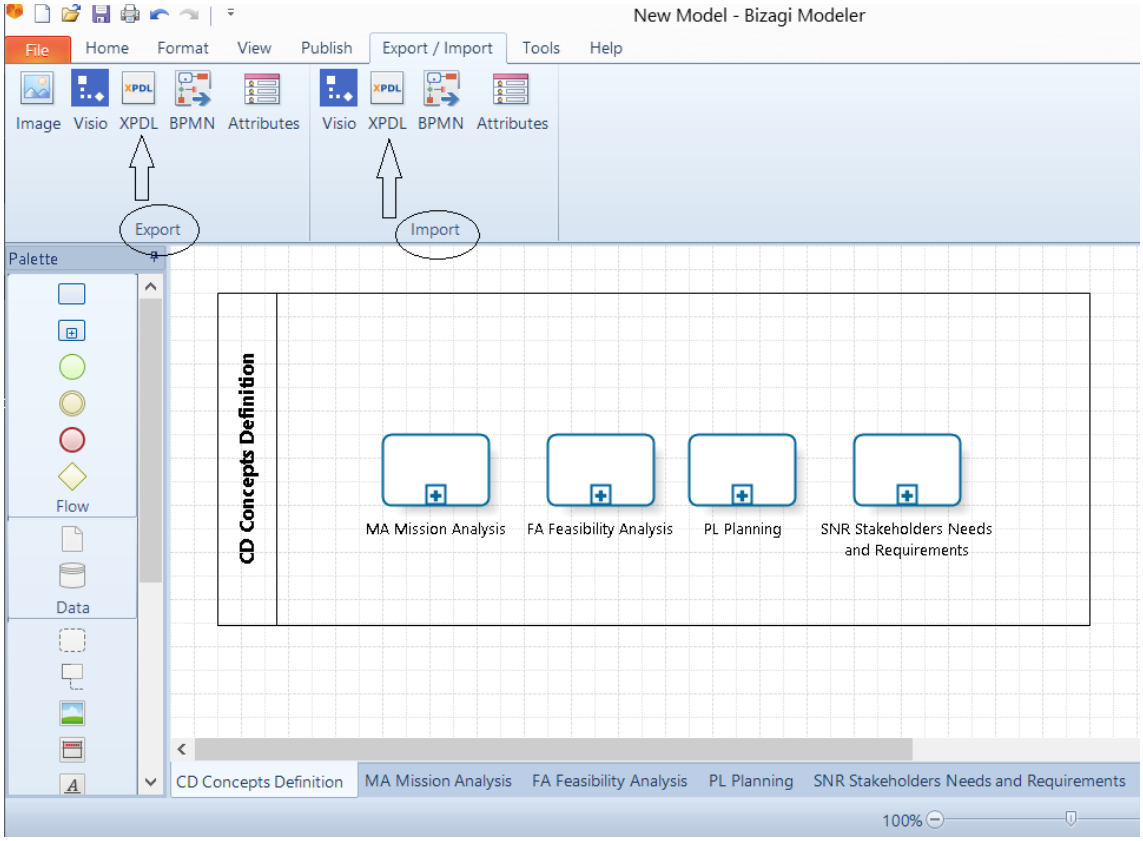
Figura B.14 – Ambiente para Gestão de Processos.



Fonte: Produção do autor.

Nesta etapa, os arquivos XPDL gerados pelo Jet-Conversor serão importados por meio do aplicativo BiaAgi Modeler, e logo após a importação, inicia-se a fase de bricolagem da Gestão de Processos, que consiste na criação do modelo estático de processos, realizando todos os ajustes necessários, e principalmente, adicionando elementos que por algum motivo não foram importados, conforme descrito na Figura B.15.

Figura B.15 – Interface do BizAgi Modeler – Bricolagem.



Fonte: Produção do autor.

Após a conclusão da fase de bricolagem, a próxima tarefa consiste na criação do modelo de execução dos processos, através da ferramenta BizAgi Suite, que permite a importação do modelo estático de processos – gerado pelo BizAgi Modeler – e possibilita a inclusão de elementos específicos da fase de automação de processos.

Através do ambiente BizAgi Suite, descrito na Figura B.16, será possível automatizar algumas tarefas do modelo de processos e executá-las de forma dinâmica, possibilitando uma análise detalhada do que foi executado, tanto em nível de processos, quanto em nível de tarefas e usuários, provendo um ambiente que conduz a ajustes e melhorias no modelo de processos proposto.

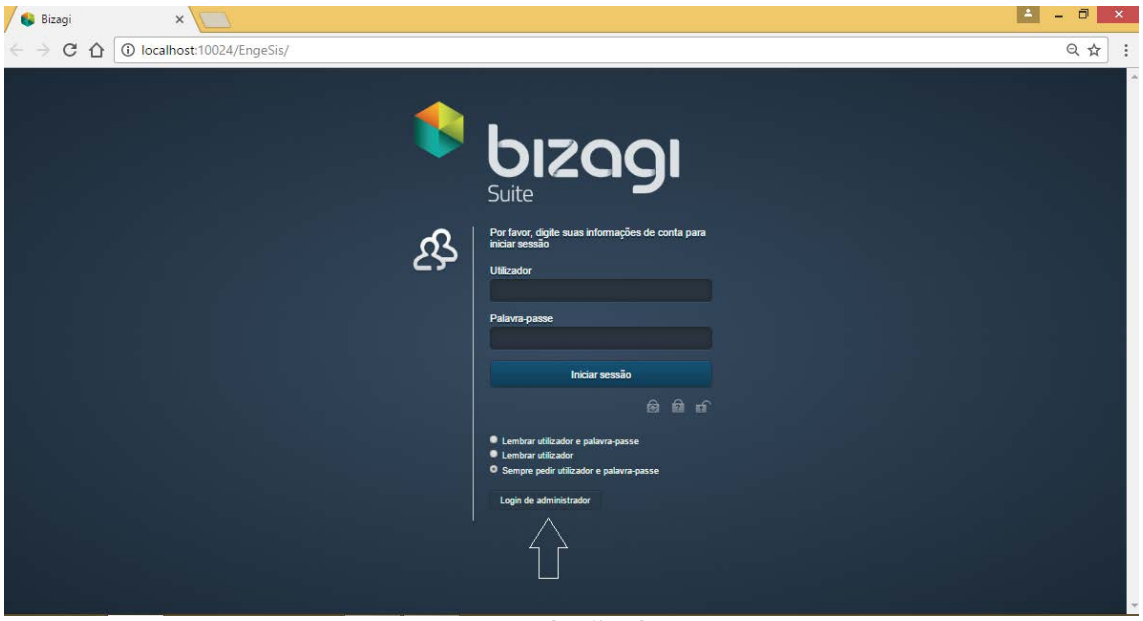
Figura B.16 – Interface do BizAgi Suite – Desenvolver e Executar o Modelo.

Fonte: Produção do autor.

Por meio do Carrosel de funcionalidades disponíveis no BizAgi Suite será possível editar e modificar os processos, criar o modelo de dados e formulários necessários para automação das atividades do modelo de processos a serem automatizadas.

Após finalizar o desenvolvimento do modelo, clicar no botão <Run> no menu, para que o modelo seja executado, conforme descrito na Figura B.17.

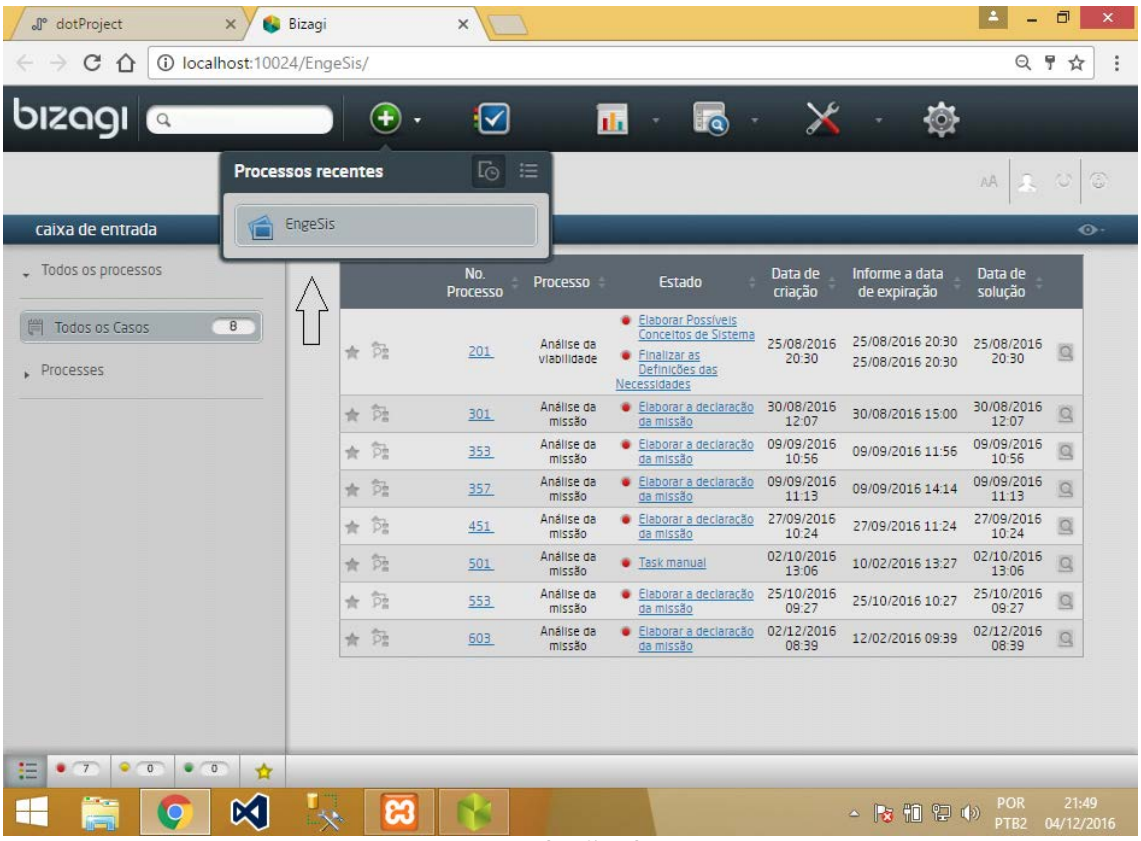
Figura B.17 – Interface do BizAgi Suite – Executando o Modelo / Login.



Fonte: Produção do autor.

Para executar o ambiente, será necessário efetuar o login de acesso. Ao clicar na opção “Login de administrador”, o sistema será acessado e um painel com os processos disponíveis para execução será disponibilizado, conforme descrito na Figura B.18. Existem cadastrados ainda dois usuários que poderão interagir com o sistema o “Engenheiro, senha: 123456” e o “Gestor, senha: 123456”.

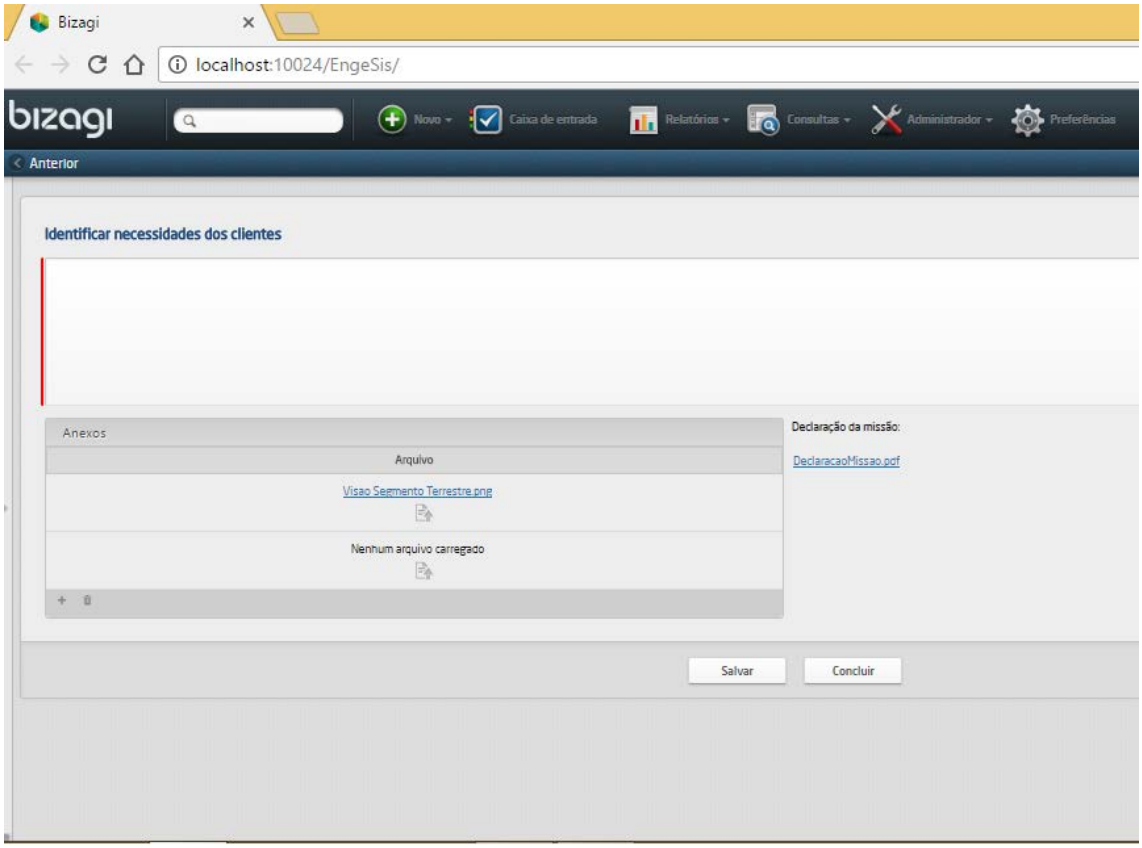
Figura B.18 – Interface do BizAgi Suite – Executando o Modelo / Painel.



Fonte: Produção do autor.

Clicando no menu do BizAgi Suite, na opção “Processos recentes”, serão apresentados os processos disponíveis para execução, no caso deste trabalho, denominado de processo “EngeSis”. Após selecionar o processo, será apresentada uma interface com o formulário da atividade que inicia o processo, na qual a interação com o usuário será realizada, conforme descrito na Figura B.19.

Figura B.19 – Interface do BizAgi Suite – Executando o Modelo / Formulário.



Fonte: Produção do autor.

Os passos seguintes serão preencher as informações existentes nos formulários, que representam as interfaces de interação entre os usuários e as atividades dos processos. Finalizando a execução da atividade corrente, as próximas atividades serão carregadas na ordem em que estão sequenciadas no modelo de processos, até que o fluxo se encerre por completo.

No apêndice B foram descritos os passos necessários para que o ambiente disponibilizado pelo autor, através da máquina virtual vmEngeSis, possa ser reproduzido e testado em outros cenários de interesse.