EVANDRO BERTONI DA GAMA

**PLM2M - MODELO COLABORATIVO PARA PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO
DE PROCESSOS DE MANUFATURA & GERENCIAMENTO DE PORTFÓLIO**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Manufatura

Orientador: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto

ESTE EXEMPLAR TRATA-SE
DA VERSÃO CORRIGIDA.
A VERSÃO ORIGINAL
ENCONTRA-SE DISPONÍVEL
JUNTO AO DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA MECÂNICA
DA EESC-USP.

São Carlos, 2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

G184p Gama, Evandro Bertoni da
PLM2M - Modelo colaborativo para planejamento e
gerenciamento de processos de manufatura &
gerenciamento de portfólio / Evandro Bertoni da Gama;
orientador Prof. Arthur José Vieira Porto. São Carlos,
2014.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica e Área de Concentração em
Manufatura -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2014.

1. PLM. 2. Gerenciamento do ciclo de vida de
produtos. 3. Simulação. 4. Manufatura digital. 5.
Fábrica virtual. 6. CAPP. 7. Planejamento de processos
de manufatura. 8. Gerenciamento de portfólio. I.
Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **EVANDRO BERTONI GAMA**.

Título da tese: "PLM2M – Modelo colaborativo para planejamento e gerenciamento de processos de manufatura & gerenciamento de portfólio".

Data da defesa: 18/11/2014

Comissão Julgadora:

Prof. Titular **Arthur José Vieira Porto (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Titular **Henrique Rozenfeld**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Antonio Carlos Dantas Cabral**
(Instituto Mauá de Tecnologia)

Prof. Dr. **Eduardo de Senzi Zancul**
(Escola Politécnica/EP-USP)

Prof. Dr. **Moacir Gosinho Filho**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Resultado:

APROVADO

Reprovado

Aprovado

APROVADO

Reprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica:
Prof. Associado **Marcelo Areias Trindade**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

A Deus e a paz do mundo, minha família, amigos, profissionais e todos que colaboraram com esforço e dedicação para a conclusão desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto do PPG-SEM-EESC/USP, meu orientador, que ofereceu em todos os momentos o apoio necessário para a conclusão deste trabalho. Agradeço ao Prof. Dr. Álvaro Costa Neto, que me incentivou e proporcionou o entusiasmo para cursar o Programa de Doutorado - na linha de pesquisa 'Manufatura' - do Setor de Engenharia Mecânica (SEM) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Agradeço aos participantes das bancas examinadoras (qualificação e defesa) Prof. Dr. Eduardo Vila (PPG-SEM-EESC/USP), Prof. Dr. Henrique Rozelfed (PPG-SEP-EESC/USP), Prof. Dr. Eduardo de Senzi Zancul (PPG-DEP-Politécnica/USP), Prof. Dr. Miguel Antonio Bueno da Costa (PPG-EP/UFSCar), Prof. Dr. Moacir Godinho Filho (PPG-EP/UFSCar), Prof. Dr. Paulo Rogério Politano (PPG-CC/PPG-EP/UFSCar) e Prof. Dr. Antonio Carlos Dantas Cabral (PPG-EP/IMT - Instituto Mauá de Tecnologia). Agradeço a todos os professores que proporcionaram o enriquecimento e o aprimoramento da minha educação em Engenharia Mecânica e de Produção: Prof. Dr. Fábio Müller Guerrini (PPG-SEP-EESC/USP), Prof. Dr. Alexandre José Tiberti (PPG-SEM-EESC/USP), Prof.^a Dr.^a Maira Martins da Silva (PPG-SEM-EESC/USP), Prof. Dr. Reginaldo Teixeira Coelho (PPG-SEP-EESC/USP), Prof. Dr. Eraldo Jannone da Silva (PPG-SEP-EESC/USP), Prof.^a Dr.^a Marly Monteiro de Carvalho (PPG-EP - Escola Politécnica/USP). Também agradeço ao Prof. Dr. Marcelo Areias Trindade, da Comissão Coordenadora do Programa (CCP) de Pós-Graduação da Área de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Agradeço aos participantes da MWM International Motores, empresa do Grupo Navistar: Dr. Eng. Celso Argachoy - Gerente de Projeto de Motores, Eng. Wagner Rossi de Sá - Supervisor da Engenharia de Projetos, Luciano Martins - Aplicações de Projeto & PDM, Anderson Araujo Bressam - Supervisor de Engenharia de Produto, Maurício Lordello Cortez - Engenheiro de Produto, Aurélio Ribeiro de Aguiar Jr - Técnico de Produto, Adabério Correia Diniz - Supervisor de Sistemas de Manufatura, Osmar Marinho - Engenheiro de Manufatura e MSc. Marco Aurélio Daló - Tecnólogo de Processos e Pesquisador em Manufatura.

Também agradeço a todos os amigos e colegas que se formaram no decorrer desses anos e me entusiasmaram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

GAMA, E. B. PLM2M - Modelo Colaborativo para Planejamento e Gerenciamento de Processos de Manufatura & Gerenciamento de Portfólio. 2014. 206 f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

A partir dos anos 2000 houve uma significativa mudança no cenário global da manufatura, no sentido de induzir as empresas a trabalhar dentro de ambientes colaborativos, os quais necessitam de soluções mais integradas ao ‘modelo de empresa estendida’ para colaborar a organização como um todo, incluindo parceiros, fornecedores e clientes. Na atualidade, as atividades de planejamento e gerenciamento dos processos de manufatura necessitam levar em consideração a dispersão de recursos (do ponto de vista sistema), que engloba inclusive o conhecimento e a informação. Um problema de grande importância está na ‘conexão’ (interface) entre as engenharias, os ambientes de produção e os ambientes de operações comerciais, principalmente na precisão do compartilhamento de dados. Como proposta de solução deste problema a pesquisa tem como contribuição a criação do modelo de referência denominado PLM2M (*PLM to Manufacturing*), suportado pelas iniciativas da manufatura digital DM (*Digital Manufacturing*) do PLM (*Product Lifecycle Management*), que envolvem ‘simulação’ e ‘procedimentos colaborativos’, principalmente para as atividades de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura, consideradas o ‘elo’ entre o desenvolvimento de produtos, o gerenciamento do chão de fábrica e o planejamento e controle da produção. O modelo de referência PLM2M tem como objetivo integrar as áreas que participam do processo de manufatura. Está fundamentado em um conjunto de procedimentos que explora estratégias de modelagem de fluxos de trabalho WfMS (*Workflow Management System*) e arquitetura TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação), a modelagem de processos de negócios, as definições de produto, o *layout* de plantas industriais, os recursos (máquinas e dispositivos, matéria-prima e pessoas), o sequenciamento das operações de produção (que releva a demanda e envolve volume, variedade e prazos), e ainda, o controle e gerenciamento das informações de chão de fábrica. O modelo PLM2M estabelece relação com a gestão de portfólio de programas e projetos no ciclo de vida de produtos (PLM) e tem o propósito de oferecer melhoria de produtividade, ajuste de capacidade de produção e melhor reuso dos ativos da planta, proporcionando melhores ‘*time-to-market*’ de produtos. Para implementar o modelo PLM2M considera-se a hipótese de que esse modelo deve ser aplicado em cenários de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura para ambientes complexos e dispersos e que estejam engajados dentro de critérios de avaliação (*assessment*) de modelos de maturidade e capacidade em relação ao uso do PLM e Manufatura Digital.

Palavras-chave: PLM, Gerenciamento do Ciclo de Vida de Produtos, Simulação, Manufatura Digital, Fábrica Virtual, CAPP, Planejamento de Processos de Manufatura, Gerenciamento de Portfólio.

ABSTRACT

GAMA, E. B. PLM2M - Collaborative Model for Manufacturing Processes Planning and Management & Portfolio Management. 2014. 206 f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

Since 2000, there has been a significant change in the global scenario of manufacturing, in order to induce companies to work within collaborative environments, which require more integrated solutions to the ‘extended enterprise model’ to collaborate the organization as a whole, including partners, suppliers and customers. In the current days, the activities of manufacturing process planning and management need to take into account the dispersion of resources (from the point of view system), which includes the knowledge and information. A problem of great importance is the ‘connection’ (interface) among the engineering, the production environments and the commercial operations environments, mainly in the accuracy of the data sharing. As a proposal for solve this problem the research presents as a contribution the creation of the reference model called PLM2M (PLM to Manufacturing), supported by initiatives of Digital Manufacturing (DM) of PLM (Product Lifecycle Management), that involves ‘simulation’ and ‘collaborative procedures’, principally for activities of manufacturing processes planning and management, considered the ‘link’ among the products development, the shop floor management and the production planning and control. The PLM2M reference model has as objective to integrate the areas that participate in the manufacturing process. It is based on a set of procedures that explores workflows modeling strategies WfMS (Workflow Management System) and ICT (Information and Communication Technology) architecture, the business processes modeling, the product definitions, the layout of industrial plants, the resources (machines and devices, raw materials and people), the sequencing of production operations (which takes into account the demand and involves volume, variety and lead-time), and yet, the shop floor information control and management. The PLM2M model establishes relationship with the portfolio management of programs and projects in the product lifecycle management (PLM) and has the purpose to provide productivity improvement, adjustment of production capacity and better reuse of plant assets, providing better ‘time-to-market’ of products. To implement the PLM2M model, it is important to consider the hypothesis that this model should be applied in manufacturing process planning and management scenarios for complex and dispersed environments and that are engaged within assessment criteria of maturity and capability models in relation to the use of PLM and Digital Manufacturing.

Keywords: PLM, Product Lifecycle Management, Simulation, Digital Manufacturing, Virtual Factory, CAPP, Manufacturing Processes Planning, Portfolio Management.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
SUMÁRIO	VIII
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABELAS	XVII
LISTA DE SIGLAS	XVIII
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 CARACTERIZAÇÃO E CONTRIBUIÇÃO	1
1.2 IMPORTÂNCIA DA MANUFATURA DIGITAL - SITUAÇÃO	3
1.3 RELAÇÃO DO MODELO PLM2M COM O GERENCIAMENTO DE PORTFÓLIO DE PROGRAMAS E PROJETOS	6
1.4 IMPORTÂNCIA, OBJETIVO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	8
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA	9
CAPÍTULO 2 - CENÁRIOS, REVISÃO DE LITERATURA E METODOLOGIA	12
2.1 PLM2M, CONCEITUAÇÃO DE PLM & cPDm	12
2.2 PLM E PLANEJAMENTO DE PROCESSOS COLABORATIVOS DE MANUFATURA	15

2.3 PLM2M E FERRAMENTAS DE MERCADO	18
2.4 REVISÃO DE LITERATURA E CONTINGÊNCIAS	25
2.4.1 Visão Corporativa – Analogia com o ambiente acadêmico	38
2.5 METODOLOGIA DA PESQUISA	39
2.5.1 Caracterização e estruturação do estudo	42
2.6 CASO MWM INTERNATIONAL MOTORES	43
2.6.1 Escopo do estudo na Engenharia de Produtos da MWM/SP	44
2.6.2 Particularidades no desenvolvimento de motores da MWM/SP	45
2.6.3 Escopo do estudo na Engenharia de Processos da MWM/SP	47
2.7 PROPOSTA E CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS	49
CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTOS PARA O MODELO DE REFERÊNCIA PLM2M - PLM TO MANUFACTURING	51
3.1 VISÃO GERAL	51
3.2 CONCEITUAÇÃO DE EMPRESA ESTENDIDA	53
3.3 AMBIENTES COLABORATIVOS DE MANUFATURA	57
3.4 EXIGÊNCIAS PARA TROCA E COMPARTILHAMENTO DE DADOS, INFORMAÇÕES E CONHECIMENTO	60
3.4.1 XML – A Base do Compartilhamento de Dados e Informações para o Modelo PLM2M	64
3.4.2 PLM XML na Prática	76
3.5 PLM2M ASSESSMENT & REQUISITOS BÁSICOS PARA O GERENCIAMENTO DO FLUXOS DE TRABALHO (WfMS) E DE PROCESSOS DE NEGÓCIOS (BPM)	78

3.5.1 Relação PLM2M Assessment e as Recomendações de Michael Grieves	80
3.5.1.1 PLM Assessment para infraestrutura	83
3.5.1.2 PLM Assessment para sistemas e aplicações em uso	85
3.5.1.3 PLM Assessment para pessoas	85
3.5.1.4 PLM Assessment de práticas e processos	86
3.5.1.5 PLM2M e fluxos de trabalho	86
3.5.1.6 Visão ampliada do gerenciamento de fluxos de trabalho	88
3.5.2 PLM2M Assessment – Sumário de avaliações	93
3.5.3 Realção PLM2M Assessment e CMM/CMMI	96
3.5.3.1 Visão CMMI Institute	99
3.5.3.2 CMM/CMMI como <i>assessment</i> para PLM	101
3.5.3.3 Visão ampliada CMMI/CMMI-DEV	110
CAPÍTULO 4 – MODELO DE REFERÊNCIA PLM2M & RESULTADO DO ESTUDO DE CASO MWM INTERNATIONAL - NAVISTAR	121
4.1 FOCO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	121
4.2 RELAÇÃO MODELO PLM E GESTÃO DE PROGRAMAS	125
4.3 MODELO DE REFERÊNCIA PML2M - <i>FRAMEWORK</i>	130
4.3.1 PLM2M – <i>Framework</i> Visão Funcional	132
4.3.2 PLM2M – <i>Framework</i> Visão Lógica	134
4.3.3 PLM2M – <i>Framework</i> Visão de Aplicação	136
4.4 VISÃO AMPLIADA DE APLICAÇÃO PLM2M NA ENGENHARIA DE MANUFATURA	139

4.5 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO PLM2M – PASSO A PASSO	141
4.6 MWM INTERNATIONAL/NAVISTAR – RESULTADO DO ESTUDO DE CASO	142
4.6.1 Visão ampliada do estudo de caso na Engenharia de Processos de Usinagem - EPU	146
4.6.2 Diagnóstico – Avaliação do caso	147
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	150
5.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E CONTRIBUIÇÕES DO MODELO PLM2M	150
5.2 LIÇÕES APRENDIDAS	153
5.3 VISÃO DE TRABALHOS FUTUROS	154
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156
ANEXO I: REVISÃO DE LITERATURA	
Tabela A1 - Revisão de literatura de Siller et al. (2009)	167
ANEXO II: Fluxograma do planejamento e execução de processos de usinagem - EPU	170
ANEXO III: GLOSSÁRIO DE TERMOS ESTRANGEIROS	173

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Planejamento eletrônico de processos da Siemens PLM Software - Fonte: ‘CXOs: Meet your new core competency - digital manufacturing’	20
Figura 2.2 – Esquema da hierarquia dos módulos do software Tecnomatix. Fonte: Siemens PLM Software	21
Figura 2.3 – Estrutura funcional da suíte Teamcenter. Fonte: Siemens PLM Software	22
Figura 2.4 – Destaque do módulo ‘Portfolio, Program & Project Management’ na estrutura funcional da suíte Teamcenter. Fonte: Siemens PLM Software	23
Figura 2.5 – Universo para revisão de literatura na plataforma de pesquisa Web of Science	25
Figura 2.6 – Gráficos gerados de forma automática a partir da plataforma Web of Science	27
Figura 2.7 – Cenário de colaboração da informação como resultado de pesquisa - (GAMA, 2011)	41
Figura 2.8 – Exemplos de produtos Navistar. Fonte: http://www.navistar.com	43
Figura 3.1 – Exigências necessárias para troca de dados, informações e conhecimento em ambientes internos e externos – Base do Modelo de referência PLM2M – (Elaborado pelo autor) – Fonte Siller et al. (2009)	52
Figura 3.2 – Visão diferenciada de <i>Supply Chain</i> e <i>Supply Net</i> . Fonte: Grieves (2011) – Virtually Perfect – Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management	55
Figura 3.3 – Exemplo de caracterização e definição de regras para integração de fornecedores e parceiros do módulo SEM (<i>Supplier Relationship Management</i>) to Teamcenter. Fonte: Supplier Integration Solution Overview Presentation V12 – Siemens PLM Software (2011)	56

Figura 3.4 – Estágios de projeto do produto, desenvolvimento, manufatura e ferramentas associadas. Fonte: Siller et al. (2009)	58
Figura 3.5 – Integração dos sistemas de informação para modelagem do conhecimento nos ambientes de manufatura que incluem PLM, MPM e ERP. Fonte: Knowledge-based assessment of manufacturing process performance: integration of product lifecycle management and value-chain simulation approaches – Bosch-Mauchand et al. (2012)	62
Figura 3.6 – Componentes Siemens PLM Software. Fonte: http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/open/index.shtml (acesso 30/12/2013)	64
Figura 3.7 – Esquema .xsd para a Propriedade de Equipamento B2MML – Fonte: Revista In Tech Edição 79 (2006)	65
Figura 3.8 – Pipeline PLM XML, da Siemens PLM Software que inclui os padrões XT e JT. Fonte: http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/open/plmxml/index.shtml (acesso 30/01/2014)	68
Figura 3.9 – Conjunto de esquemas PLM XML Versão 7.0.3 para <i>download</i> . Fonte: http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/open/plmxml/schemas.shtml (acesso 15/01/2014)	71
Figura 3.10 – Trecho de documento PLM XML. Fonte: Artigo ‘Open product lifecycle data sharing using XML’ – Siemens PLM Software, 2011	72
Figura 3.11 – Trecho de um esquema PLM XML e árvore de hierarquia. Fonte: Artigo ‘Open product lifecycle data sharing using XML’ – Siemens PLM Software, 2011	73
Figura 3.12 – Visão completa dos serviços do ‘ <i>pipeline</i> ’ PLM XML. Fonte: Artigo ‘Open product lifecycle data sharing using XML’ – Siemens PLM Software, 2011	77
Figura 3.13 – <i>Framework</i> conceitual PLM2M Assessment. Fonte: Bordi S. et al. 2011 (adaptado)	79
Figura 3.14 – Sistema de Gerenciamento de Processos de Negócios. Fonte: Jeston e Nelis (2008) (adaptado de Smith e Fingar, 2002)	82

Figura 3.15 – Exemplo de ramificação de ‘ <i>workflow</i> ’ de processos no software Teamcenter. Fonte: Using Teamcenter Student Guide MT25150 TC 8.3 – Siemens PLM Software, 2010	87
Figura 3.16 – Esquema WAPI – <i>Workflow Application Programming Interface</i> . Fonte: Managing Collaborative Process Planning Activities through Extended Enterprise – Siller et al. (2009)	91
Figura 3.17 – Exemplo BPMN – Modelo de Fluxo de Trabalho para Planejamento Colaborativo de Processos na Empresa Estendida – Relação OEMs e Tiers-1. Fonte: Managing Collaborative Process Planning Activities through Extended Enterprise – Siller et al. (2009)	93
Figura 3.18 – Modelo DMM (<i>Data Management Maturity</i>) – Gerenciamento de dados para as áreas de processos específicas agrupadas por categorias – Fonte: http://whatis.cmmi.institute.com/data-management-strategy - (Acesso em maio de 2014)	101
Figura 3.19 – Os cinco níveis de maturidade do CMM/CMMI (com base no desenvolvimento de software) – Fonte: Capability Maturity Model For Software – Fagundes (2004)	103
Figura 3.20 – Efeito da eficiência no Modelo de Maturidade de Capabilidade CMM/CMMI. Fonte: Product Lifecycle Management – Driving the Next Generation of Lean Thinking – Michael Grieves (2006)	106
Figura 3.21 – Níveis de maturidade CMM/CMMI aplicados às várias áreas funcionais do Modelo PLM. Fonte: Product Lifecycle Management – Driving the Next Generation of Lean Thinking – Michael Grieves (2006)	108
Figura 3.22 – Níveis de maturidade futuros CMM/CMMI aplicados às várias áreas funcionais do Modelo PLM. Fonte: Product Lifecycle Management – Driving the Next Generation of Lean Thinking – Grieves (2006)	109
Figura 3.23 – Estrutura das representações contínua e gradual (incremental) – Fonte: CMMI/DEV, V1.3 – Improving processes for developing better products and services – (2010)	113

Figura 3.24 – Comparação entre os níveis de capacidade e maturidade – Fonte: CMMI-DEV, V1.3 – Improving processes for developing better products and services – (2010) ...	114
Figura 3.25 – Áreas de processos com representação contínua. – Fonte: CMMI-DEV, V1. (2010)	114
Figura 3.26 – Áreas de processos com representação gradual. Fonte: CMMI-DEV, V1.3 (2010)	115
Figura 3.27 – Exemplo de perfis combinados <i>achievement</i> e <i>target</i> . – Fonte: CMMI-DEV, V1.3 – Improving Processes for developing better products and services – (2010)	118
Figura 3.28 – Perfis <i>target</i> e estágios equivalentes. – Fonte: CMMI-DEV, V1.3 – Improving processes for developing better products and services – (2010)	119
Figura 4.1 – Organização genérica da atividade de desenvolvimento de produto. Fonte: Leite et al. (2007) – Gestão de Projeto do Produto – A Excelência da Indústria Automotiva	123
Figura 4.2 – Áreas de conhecimento em gerenciamento de projetos. Fonte: Leite et al. (2007) – Gestão de Projeto do Produto – A Excelência da Indústria Automotiva)	124
Figura 4.3 – Visão geral das áreas de cobertura (áreas funcionais) apoiadas pelas iniciativas PLM. Fonte: Artigo CIMdata (PLM – Automation Market Evolution – The PLM Footprint Steps onto the Factory Floor - 2008)	125
Figura 4.4 – Macrovisão e microvisão de um programa automotivo. Fonte: Leite et al. (2007) – Gestão de Projeto do Produto – A Excelência da Indústria Automotiva – Adaptado	126
Figura 4.5 – Delimitação do escopo de um programa automotivo proposta por Expertise Informática (2003). Fonte: Leite et al. (2007) – Gestão de Projeto do Produto – A Excelência da Indústria Automotiva	127
Figura 4.6 – Atividades envolvidas em um programa de uma montadora automotiva (OEM). Fonte: Leite et al. (2007) – Gestão de Projeto do Produto – A Excelência da Indústria Automotiva	128
Figura 4.7 – Atividades envolvidas em um programa do veículo, motor e transmissão. Fonte: The System Integration Process for Accelerated Development. Menne e Rechs (2002)	129

Figura 4.8 – Aspecto macro do <i>framework</i> de referência PLM2M – Elaborado pelo autor	131
Figura 4.9 - Visão funcional do <i>framework</i> PLM2M – Destaca os formatos de dados XT do Parasolid, JT e STEP para padrões de serviços e ‘ <i>schemas</i> ’, adaptadores e ferramentas ‘ <i>toolkits</i> ’ para manutenção do ‘Pipeline PLM XML’. Adaptado pelo autor	133
Figura 4.10 – Visão lógica do <i>framework</i> PLM2M – Cumpre os objetivos de incorporar, para as engenharias de produto e manufatura, ferramentas de gerenciamento do fluxo de trabalho – WfMS/BPM – dentro de uma abrangência de governança de projetos, programas e portfólios e modelos de maturidade. – Elaborado pelo autor	135
Figura 4.11 – Visão de aplicação do <i>framework</i> PLM2M fundamentada na abrangência da suíte de <i>software</i> Tecnomatix da Siemens PLM Software e aplicações pontuais da suíte Teamcenter – Elaborado pelo autor	138
Figura 4.12 – Manufatura Digital – Exemplos de aplicação Tecnomatix – Elaborado pelo autor	139
Figura 4.13 – <i>Inputs</i> e <i>outputs</i> para um sistema de manufatura – Fonte: Process Planning – The design/manufacture – Peter Scallan (2003)	140
Figura 4.14 – Passo a passo para a implementação do modelo de referência PLM2M – Elaborado pelo autor	142
Figura 4.15 – Processo de aprovação de uma CRAD (Controle de Registro e Aprovação de Desenho). Fonte: Departamento de desenvolvimento de produtos da MWM International – Elaborado pelo autor como processo de análise do estudo de caso	144
Figura 4.16 – Proposta de alteração da BOM no fluxo de integração Teamcenter e SAP. Fonte: Departamento de desenvolvimento de produtos da MWM International	145
Figura 4.17 – Conexão entre dados de produto, de recursos, de processos e dados da planta. Fonte: ARC White Paper – Siemens PLM Software Integrates Product, Process, and Quality Assurance with Dimensional Planning & Validation (2007)	148
Figura 5.1 – O modelo PLM2M tem como contribuição a integração das áreas que participam do processo de manufatura – Elaborado pelo autor	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Filtros de busca e resultados obtidos na plataforma de pesquisa Web of Science para o período de 2000 a 2014	26
Tabela 2.2 – Relatório de citações a partir da plataforma de pesquisa Web of Science para o período de 2000 a 2014 - inclui todas as bases de dados	28
Tabela 2.3 – Tópicos refinados de filtro de busca e resultados obtidos na plataforma de pesquisa Web of Science para o período de 2000 a 2014.....	31
Tabela 3.1 – Ferramentas auxiliares Parasolid	69
Tabela 3.2 – Rotinas de tipos de dados para os esquemas PLM XML	74
Tabela 3.3 – PLM Assessment de infraestrutura	83
Tabela 3.4 – Componentes básicos necessários para um sistema WfMS	88
Tabela 3.5 – PLM Assessment – Componentes básicos para avaliação	94
Tabela 3.6 – Níveis de maturidade oferecidos pelo CMM/CMMI	104
Tabela 3.7 – 22 áreas de processos do CMMI-DEV	116
Tabela 4.1 – Conjunto de soluções da Siemens PLM Software	136
Tabela 5.1 – Principais características e contribuições do modelo PLM2M	152

LISTA DE SIGLAS

AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>
AIT	<i>Accessible Information Technology Initiative</i>
AKM	<i>Active Knowledge Models</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning</i>
APS	<i>Advanced Planning and Scheduling</i>
ASQ	<i>American Society for Quality</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
BofP	<i>Bill of Process</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i>
BOP	<i>Bill of Process</i>
BPM	<i>Business Process Management</i>
BPMN	<i>Business Process Management Notation</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CAPP	<i>Computer Aided Process Planning</i>
CAR	<i>Causal Analysis and Resolution</i>

CCTA	<i>Central Computing and Telecommunications Agency</i>
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CM	<i>Configuration Management</i>
CMM	<i>Capability Maturity Model</i>
CMMI	<i>Capability Maturity Model Integrated</i>
CNC	<i>Computer Numerical Controls</i>
CO	<i>Controladoria</i>
COBIT	<i>Control Objectives for Information and related Technology</i>
CPD	<i>Collaborative Product Development</i>
cPDm	<i>Collaborative Product Definition management</i>
CRM	<i>Customer Relations Management</i>
CRAD	<i>Controle de Registro e Aprovação de Desenhos</i>
CSF	<i>Critical Success Factors</i>
DM	<i>Digital Manufacturing</i>
DMM	<i>Data Management Maturity</i>
DoD	<i>Department of Defense</i>
DS	<i>Dassault Systèmes</i>
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i>
EAI	<i>Enterprise Application Integration</i>
EME	<i>Extend Manufacturing Enterprise</i>
EPM	<i>Emergent Process Management</i>

EPU	<i>Engenharia de Processos de Usinagem</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
EVN	<i>Estudo de Viabilidade de Negócios</i>
FI	<i>Finanças</i>
FMEA	<i>Failure Model and Effect Analysis</i>
GDE	<i>General Design Element</i>
GUIs	<i>Graphical Users Interfaces</i>
HR	<i>Recursos Humanos</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
ID	<i>Identificação</i>
IGES	<i>Initial Graphic Exchange Specifications</i>
IPM	<i>Integrated Project Management</i>
ISA	<i>Setting the Standards for Automation</i>
ISACA	<i>Information System Audit and Control Association</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISVs	<i>Independent Software Vendors</i>
IT	<i>Information Technology</i>
ITIL	<i>Information Technology Infrastructure</i>
KIF	<i>Knowledge Interchange Format</i>
KGI	<i>Key Goal Indicators</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>

KM	<i>Knowledge Management</i>
KPAS	<i>Key Process Area</i>
MA	<i>Measurement and Analysis</i>
MCDA	<i>Multicriteria Decision Analysis</i>
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
MESA	<i>Manufacturing Enterprise System Association</i>
MKT	<i>Marketing</i>
MM	<i>Material Management</i>
MOM	<i>Manufacturing Operations Management</i>
MPM	<i>Manufacturing Process Management</i>
MRO	<i>Maintenance Repair Overhaul</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OEMs	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OGC	<i>Office for Government Commerce</i>
OPD	<i>Organizational Process Definition</i>
OPF	<i>Organizational Process Focus</i>
OPM	<i>Organizational Performance Management</i>
OPP	<i>Organizational Process Performance</i>
OT	<i>Organizational Training</i>
OWL	<i>Ontology Web Language</i>
P&D	<i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>

PCP	<i>Planejamento e Controle de Produção</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PDM	<i>Product Data Management</i>
PDMA	<i>Product Development Management Association</i>
PDML	<i>Product Data Markup Language</i>
PDP	<i>Process Data Processing</i>
PI	<i>Product Integration</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
PMC	<i>Project Monitoring and Control</i>
PP	<i>Process Planning</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PMBOK	<i>Project Management Body on Knowledge</i>
PP&PM	<i>Portfolio, Program & Project Management</i>
PPQA	<i>Process and Product Quality Assurance</i>
PSL	<i>Process Specification Language</i>
PTC	<i>Parametric Technology Corporation</i>
QPM	<i>Quantitative Project Management</i>
RD	<i>Requirements Development</i>
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
REQM	<i>Requirements Management</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>

ROI	<i>Return On Investment</i>
RSKM	<i>Risk Management</i>
S&OP	<i>Sales and Operations Planning</i>
SOP	<i>Start of Production</i>
SaaS	<i>Software as a Service</i>
SAM	<i>Supplier Agreement Management</i>
SCAMPI	<i>Standard CMMI Appraisal Method for Process Improvement</i>
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
SCOR	<i>Supply Chain Operations Reference</i>
SDK	<i>Software Developer Kit</i>
SEI	<i>Software Engineering Institute</i>
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i>
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SRM	<i>Supplier Relationship Management</i>
STEP	<i>Standard for the Exchange of Product</i>
STL	<i>STereoLithography</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i>
TA	<i>Tecnologia de Automação</i>
TCS	<i>Tata Consulting Services</i>
TI	<i>Tecnologia da Informação</i>
TIC	<i>Tecnologia da Informação e Comunicação</i>

TS	<i>Technical Solution</i>
UGS	<i>Unigraphics Software</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifiers</i>
USP	<i>Universidade de São Paulo</i>
VAL	<i>Validation</i>
VER	<i>Verification</i>
VRML	<i>Virtual Reality Modeling Language</i>
WAPI	<i>Workflow Application Programming Interface</i>
WEB	<i>World Wide Web</i>
WfMS	<i>Workflow Management System</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO E CONTRIBUIÇÃO

O cenário global da manufatura está induzindo as empresas a trabalhar dentro de ambientes colaborativos e necessita de soluções mais integradas ao modelo de empresa estendida para satisfazer as atuais exigências de mercado. O modelo de empresa estendida aplicado aos ambientes de manufatura traz vantagens competitivas sem precedentes, permite que a organização, colaboradores, fornecedores e clientes trabalhem de forma integrada dentro de cenários globais de colaboração (GAMA, 2011). Um problema de grande importância está na interface (conexão) entre as áreas funcionais de engenharia, os ambientes de produção e os ambientes de operações comerciais, principalmente no fluxo de trabalho, na precisão do compartilhamento de dados e informações e na transferência do conhecimento. Esse conjunto de elementos coloca em evidência a necessidade de atividades colaborativas para planejamento e gerenciamento de processos de manufatura que necessitam levar em consideração a dispersão de recursos do ponto de vista sistema (SILLER et al., 2009).

Como contribuição, a proposta da pesquisa é a criação de um novo modelo de colaboração denominado PLM2M (*PLM to Manufacturing*), suportado pelas iniciativas da Manufatura Digital do PLM (*Product Lifecycle Management*), que envolvem simulação e

procedimentos colaborativos, particularmente para as atividades de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura, consideradas o ‘elo’ entre o desenvolvimento de produtos, o gerenciamento de chão de fábrica e o planejamento e controle da produção (GRIEVES, 2006). A pesquisa se concentra em cenários que consideram a empresa como um todo e a cadeia de fornecimento das indústrias de fabricação e montagem de controle discreto, que contempla peças e unidades de produção. Foca a indústria automotiva, embora o modelo PLM2M estenda sua aplicação para as indústrias aeroespacial, *high-tech*, eletroeletrônica, bens de consumo, máquinas e ferramentas, entre outras.

O modelo PLM2M estabelece relação com a gestão de portfólio de programas e projetos no ciclo de vida de produtos (PLM) e está engajado dentro de critérios de avaliação de modelos de maturidade e capacidade (representados por *frameworks* de avaliação - *assessment*) em relação ao uso do PLM e Manufatura Digital. Tem o objetivo de oferecer melhoria de produtividade, melhor interface (integração) entre o desenvolvimento de produtos e planejamento de processos de manufatura, ajuste de capacidade de produção e melhor reuso dos ativos da planta, proporcionando melhores ‘*time-to-market*’ de produtos, em cenários onde os processos de manufatura impõem alta flexibilidade, confiança e menores prazos de entrega, ampla combinação de variantes e menores ciclos de vida de produtos. Ainda, os processos de modelagem, simulação e análises, em conexão com a melhoria de processos oferecida pelo modelo PLM2M, propõem conceitos mais amplos de vantagem competitiva para a gestão da cadeia de fornecimento SCM (*Supply Chain Management*) - (CHILDE, 1998).

O resultado da aplicação do modelo PLM2M garante a integração das atividades de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura a cenários mais abrangentes de colaboração de aplicações de TI (Tecnologia da Informação). Estes cenários de colaboração de TI, que envolvem processos técnicos de engenharia de produtos e engenharia de processos de manufatura, sistemas de produção e automação de chão de fábrica, processos de planejamento e controle da produção, integração da logística de fornecimento e processos de gestão comercial, são suportados pelos ambientes que as aplicações de PLM e Manufatura Digital proporcionam.

1.2 IMPORTÂNCIA DA MANUFATURA DIGITAL - SITUAÇÃO

Grieves (2006) afirma que a manufatura digital faz parte da abordagem PLM e integra as informações do ciclo de vida de produtos ao ambiente de negócios das corporações. A manufatura digital usa ambientes virtuais dinâmicos de simulação com representações de modelos em duas dimensões (2D) e modelos em três dimensões (3D) - composto por hardware e software - e apresenta um conjunto de ferramentas que integra o projeto do produto aos processos de manufatura. As soluções de manufatura digital englobam, em geral, diversos cenários de simulação como *layout* de plantas, linhas de produção, células de manufatura, dispositivos de automação e fluxo de materiais, simulação humana e processos diversos, e ainda permitem criar modelos exatos de máquinas CNC, robôs, transportadores e todo um ambiente industrial para análise e otimização (GAMA, 2011). Em sua obra ‘Product Lifecycle Management - Driving the Next Generation of Lean Thinking’, Grieves (2006) define a manufatura digital como uma abordagem que envolve pessoas, processos, práticas e tecnologia, e usa as informações do PLM para: (1) planejar, projetar e fabricar o ‘primeiro exemplar de um produto’; (2) fazer o ‘*ramp-up*’ desse produto para produção em volume, período no qual as questões de escala aparecem; (3) produzir o ‘volume restante dos produtos’ - que significa entrar em nível contínuo de produção - considerando a mínima quantidade de recursos possível e, ainda nesta fase, monitorar e capturar aspectos relevantes à fabricação.

Chryssolouris et al. (2009) comentam que a necessidade de reduzir o tempo de desenvolvimento ao mesmo tempo em que a demanda aumenta, para uma variação de produtos orientados aos clientes, tem conduzido a uma nova geração de sistemas de tecnologia da informação nos ambientes das empresas de manufatura. Organizações se empenham em integrar suas funções de negócios e departamentos com novos sistemas, em uma base de dados que proporciona a visão da empresa como um todo. Esses sistemas, segundo Chryssolouris et al. (2009), estão baseados no conceito de fábrica ou manufatura digital, que consideram os sistemas de gerenciamento de dados de produção e tecnologias de simulação. Essas tecnologias, através de um esforço comum, estão sendo usadas para otimizar os procedimentos de manufatura antes do início da produção e ainda suportam as fases de ‘*ramp-up*’. Chryssolouris et al. (2009) no artigo intitulado ‘Digital Manufacturing: history, perspectives, and outlook’ declaram que a manufatura digital tem a capacidade de: (1)

reduzir o tempo e custo de desenvolvimento; (2) integrar o conhecimento de diferentes departamentos e processos de manufatura; (3) integrar a manufatura descentralizada em função da crescente diversidade de produtos e partes produzidos em diferentes plantas; (4) focar as empresas de manufatura em seus objetivos (*core competences*), para trabalhar com eficiência na sua rede de fornecedores e colaboradores (outras empresas), em um processo de engenharia colaborativa que tem como base a tecnologia da informação.

No foco das práticas industriais, Chryssolouris et al. (2009) ainda afirmam que a manufatura digital tem seu objetivo no emprego de consistentes e abrangentes métodos digitais de planejamento e validação (com o uso do computador), desde o desenvolvimento do produto até o planejamento da produção e instalações. Wang e Nee (2009), na obra ‘Collaborative Design and Planning for Digital Manufacturing’, dentro do aspecto de ferramentas PLM para colaboração, declaram que as ferramentas PLM estão consolidadas na engenharia e na manufatura, onde o uso dessas ferramentas está concentrado em estágios ‘iniciais’ (*earlier*) do ciclo de vida de produtos, como o projeto conceitual e detalhamento. Complementam que as funcionalidades do PLM podem ser exploradas em outros estágios de desenvolvimento do produto, que inclui as atividades de planejamento de processos e recursos.

Como história, Chryssolouris et al. (2009) comentam que na Europa, nos anos 90, foi criado pelas indústrias automotivas e aeroespaciais um programa denominado AIT (*Accessible Information Technology Initiative*), dirigido aos avanços da manufatura digital. O objetivo do programa era o aumento de competitividade dessas indústrias, através do uso avançado da tecnologia da informação nas áreas de projeto e manufatura. Com base nesse programa, empresas como BMW, General Motors, Volvo, Daimler Chrysler, Ford e Fiat têm mantido relevantes desenvolvimentos em manufatura digital até os dias de hoje. Nessas empresas, e na maioria das empresas de manufatura, constatou-se que duas marcas de soluções de software de manufatura digital são frequentemente utilizadas: a suíte Delmia da Dassault Systèmes e a suíte Tecnomatix da Siemens PLM Software.

Gama (2011) comenta que as suítes - Delmia e Tecnomatix - se apresentam como um conjunto abrangente de ferramentas interdisciplinares que afetam diretamente os processos de negócios das empresas de manufatura, influenciando e propiciando, de forma direta, a engenharia colaborativa e os processos de tomadas de decisão para melhoria de produtividade, menores custos de produção e metas de qualidade. A Dassault Systèmes

(2009) deixa claro que, com os avanços da manufatura digital e simulação, existem novas oportunidades para conduzir - de forma eficiente e efetiva - os negócios de manufatura com maior lucratividade. Ainda reforça que no atual ambiente de economia competitiva o grande desafio, para que pequenas e grandes empresas avancem no sentido da inovação, está na integração da tecnologia da informação, manufatura digital, simulação, robótica e produção física. A manufatura digital possibilita que o time de engenharia de produção tenha acesso ao projeto do produto em um estágio mais cedo - que coincide com Wang e Nee (2009) - e também oferece uma visão clara do ambiente de produção. O resultado está em um melhor planejamento e validação dos processos de manufatura antes que um produto seja produzido.

Gama (2011) ainda acrescenta que o artigo 'CXOs: Meet your new core competency - digital manufacturing, 2010' traz uma visão de como a Siemens PLM Software pensa sobre a manufatura digital do PLM. No artigo a empresa diz que, mediante um cenário de tantas incertezas e rápidas mudanças econômicas, os líderes das empresas de manufatura de todo o mundo devem minimizar os riscos de suas empresas e conseguir o melhor de seus investimentos. Isso significa fabricar produtos inovativos de acordo com os picos de demanda e comprometimento com seus clientes. O artigo deixa claro a importância do gerenciamento digital no valor de negócios e nos processos de produção como um todo. Apresenta a manufatura digital como um sistema que possibilita reduzir riscos e extrair o melhor do capital investido - foco do modelo de produtividade PLM2M. Para atender essas questões, as empresas devem incorporar o reuso do conhecimento em suas linhas de negócios. Isso significa que, além do planejamento de processos, a manufatura digital também otimiza as operações de produção no sentido de comparar o realizado com o planejado, de modo que as empresas possam reter e reusar o conhecimento real de chão de fábrica, do que funcionou e do que não funcionou, tudo dentro de um ciclo contínuo de melhoramento de produção. Coincide com os conceitos de Grieves (2006) de oferecer agilidade para conseguir - mais cedo - volume de produção e entrega de produtos variados, um dos principais fatores nos programas de maximização de resultados.

1.3 RELAÇÃO DO MODELO PLM2M COM O GERENCIAMENTO DE PORTFÓLIO DE PROGRAMAS E PROJETOS

O *framework* do modelo PLM2M - que suporta a conceituação e aplicações de manufatura digital - está fundamentado em um conjunto de procedimentos que considera estratégias de modelagem de fluxos de trabalho WfMS (*Workflow Management System*) e arquitetura TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação). Explora a modelagem de processos de negócios, as definições de produto (especificações de projeto, listas de materiais etc.), o *layout* de plantas industriais, os recursos de produção (tempo, máquinas e dispositivos, matéria prima e mão de obra), o sequenciamento das operações de produção (que releva a demanda e envolve volume, prazos e variedade) e ainda, o controle e gerenciamento das informações de chão de fábrica (GAMA, 2011). Tudo para que os projetos de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura - que consideram o conhecimento da automação industrial - ocorram em conformidade com o modelo de empresa estendida, dentro de uma abordagem PLM ‘*end-to-end*’ completa.

Para implementar o modelo PLM2M nas organizações industriais, parte-se da hipótese de que esse modelo deve ser aplicado no projeto de planejamento de processos de manufatura de novos produtos ou no replanejamento de processos de manufatura de produtos existentes que, de certa forma, compense sua aplicação em função da necessidade da colaboração de informações e do reuso do conhecimento em ambientes complexos e dispersos, e que esses projetos de planejamento de processos de manufatura estejam engajados dentro de um ‘*framework*’ de critérios de desempenho, apoiados pela gestão de portfólio de programas e projetos. Scallan (2003) declara que para uma organização fabricar um produto que reúne as especificações de projeto, cada componente ou parte do produto dever ser completamente planejado. Ainda declara que assegurar somente as exigências de qualidade do produto não basta – é necessário levar em consideração o custo efetivo, que exprime o custo total de produção e releva a maximização do valor agregado, assim como deve ser ajustado o prazo final de entrega (*deadline*). Dessa forma, o planejamento do processo de manufatura deve assegurar que o produto seja fabricado de acordo com as especificações corretas (que engloba a gestão de qualidade), no menor custo possível e dentro do prazo especificado.

No contexto, uma das competências para a implementação do modelo de produtividade PLM2M está na relação entre o fluxo de informações do modelo no ciclo de vida de produtos (PLM) e as atividades envolvidas no gerenciamento de programas e projetos. Essas atividades são representadas pelos recursos envolvidos, investimentos financeiros e prazos em que deverão ser executadas, normalmente no contexto da gestão de portfólio, que considera indicadores de desempenho e valor de negócios como alinhamento estratégico, modelos contingenciais e modelos de maturidade. Carvalho e Rabechini Jr (2011) citam que a gestão de portfólio é um processo de revisão dinâmico, com base em uma lista de projetos ativos, constantemente atualizada e revisada. Os projetos novos são avaliados, selecionados e priorizados, enquanto que os projetos existentes podem ser acelerados, abortados ou despriorizados. Os recursos são alocados e realocados para os projetos ativos (COOPER et al., 2001). As organizações geram seus portfólios baseadas em objetivos estratégicos, geralmente buscando maximizar o valor, examinando os projetos e programas com vistas à inclusão ou exclusão (PMI, 2008).

Da mesma forma, porém com base no desempenho de programas de NPD (*New Product Development*) e também com base em Cooper et. al. (2001), Acur et al. (2009) definem a gestão de portfólio de projetos como um processo dinâmico de decisão, onde uma lista de atividades de projetos de novos produtos ativos – que inclui P&D – está em constante atualização e revisão. A importância estratégica do gerenciamento do portfólio de programas na manufatura se traduz pela dificuldade de selecionar os projetos rentáveis, por definir indicadores que reduzam o tempo de desenvolvimento de produtos e processos e pela implementação de uma gestão de riscos que possa estar de acordo com as estratégias de negócios das organizações (SIEMENS PLM SOFTWARE, 2010). Kester (2011) ainda reforça que o gerenciamento de portfólio é um conjunto de atividades que permite que a empresa selecione, desenvolva e comercialize uma linha de novos produtos alinhada com a estratégia da empresa, com o propósito de aumento de lucratividade em longo prazo.

1.4 IMPORTÂNCIA, OBJETIVO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A importância da pesquisa está na proposta de adoção do modelo de referência PLM2M - *PLM to Manufacturing* - para a implementação da abordagem PLM - *Product Lifecycle Management* - de forma simples, com resultados imediatos e conceitos atuais que diferem em muito da abordagem clássica da manufatura. O principal objetivo é fazer entender que a abordagem PLM, quando implementada adequadamente, possibilita colaborar ilhas de conhecimento, silos de dados e informações no conceito de empresa estendida e alinhar fluxos de trabalho mal formulados. Os sistemas PLM permitem, em muito, encurtar os ciclos de projeto e produção e refletem de forma direta nos objetivos de desempenho das organizações industriais e de serviços, contribuindo para melhor competitividade e vantagens de qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custos. Favorece a integração das áreas que participam do processo de manufatura, identifica o nível de maturidade das equipes e auxilia a modelagem de processos de negócios para decisões de investimento. Auxilia modelos de entrega que usam a gestão de portfólio de programas e sustenta procedimentos vinculados a várias práticas como *Lean Manufacturing*, ISO (*International Organization for Standardization*), CMMI (*Capability Maturity Model Integrated*), APQP (*Advanced Product Quality Planning*), FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e outras.

A pesquisa retrata, através de uma evolução de revisões de literatura, contingências e cenários de mercado, as tendências e principalmente a evolução do tratamento das informações e do conhecimento nos ambientes de manufatura. Conceitua a manufatura digital, o gerenciamento do ciclo de vida de produtos e o conjunto de elementos que compõe o modelo de produtividade PLM2M. Retrata o surgimento do PLM, o surgimento do cPDm (*collaborative Product Definition management*) e posiciona a evolução do planejamento de processos colaborativos nos ambientes de manufatura. Destaca o vínculo do PLM no chão de fábrica em relação aos tradicionais sistemas de execução e gerenciamento de manufatura. Conota a diferença da abordagem PLM em relação à manufatura clássica e aplica uma revisão sistemática de literatura, com o propósito de relacionar o tema ‘gerenciamento de portfólio de programas e projetos’ com o universo do planejamento de processos de manufatura em ambientes PLM. A pesquisa ainda traz referências de mercado e depoimentos de

profissionais, com o objetivo de estabelecer analogia entre o ambiente acadêmico e a aplicação do PLM e Manufatura Digital na indústria.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

A pesquisa apresenta um conjunto de conceitos e práticas para a adoção do modelo de colaboração PLM2M e está estruturada em cinco capítulos:

Capítulo 1 – Este capítulo contextualiza e justifica a proposta da pesquisa para a criação do novo modelo colaborativo PLM2M – *PLM to Manufacturing*. Traz uma visão abrangente sobre a manufatura digital e relaciona o modelo PLM2M com o gerenciamento de portfólio de programas e projetos.

Capítulo 2 – Estabelece a interação do modelo PLM2M com o conceito de gerenciamento colaborativo das definições do produto *cPDm – collaborative Product Definition management*. Avança para a conceituação do PLM em relação ao planejamento integrado de processos colaborativos de manufatura no contexto da integração digital e associa o uso do PLM2M com as suítes de software Teamcenter e Tecnomatix da Siemens PLM Software. Traz a revisão de literatura, suas contingências e analogia entre os ambientes científico e corporativo (senso de mercado). Conceitua a metodologia, estruturação e atividades utilizadas na pesquisa. Ainda, contextualiza a MWM International Motores - planta de São Paulo - como o propósito (organização participante) do estudo de caso, aonde são retratados o escopo do projeto e particularidades para as visões de engenharia de produtos e processos e as contribuições esperadas.

Capítulo 3 – Este capítulo trata dos fundamentos para o modelo de referência PLM2M - *PLM to Manufacturing* – e destaca, dentro da abrangência das funcionalidades da tecnologia da informação e comunicação (TIC), as exigências necessárias para troca de dados, informações e conhecimento como: (1) padrões de comunicação e interoperabilidade em ambientes heterogêneos; (2) exigências básicas para o gerenciamento do fluxo de trabalho (workflow); e (3) ferramentas PLM para colaboração. Esses elementos induzem às visões funcional, lógica e de aplicação e formam a base do modelo de produtividade PLM2M.

Na sequência é vista a conceituação de empresa estendida para que as corporações possam trabalhar de forma conjunta para maximizar resultados e a importância de compreender a real diferença entre cadeia de fornecimento (*supply chain*) e rede de fornecimento (*supply net*). Ainda, é explorada a visão de ambientes colaborativos de manufatura que realça a relação entre manufatura clássica, engenharia simultânea e manufatura digital.

Mais dois pontos importantes são vistos neste capítulo, o primeiro em relação à gestão de armazenagem de dados e documentos do produto, que destacam formatos proprietários ou padronizados de dados como STEP - *Standard for the Exchange of Product*, IGES - *Initial Graphic Exchange Specification*, JT da Siemens PLM entre outros, e o formato XML/PLM XML - para entrega de mensagens - como a base do compartilhamento de dados e informações para o modelo PLM2M. O segundo ponto trata dos requisitos básicos para o gerenciamento de fluxos de trabalho que inclui a metodologia PLM2M Assessment associada a ferramentas de gerenciamento de fluxos de trabalho WfMS - *Workflow Management System* - e ferramentas de gerenciamento de processos de negócios BPM - *Business Process Management*. Ainda, no contexto é vista a relação PLM2M Assessment e CMM/CMMI e uma visão ampliada do CMMI-DEV.

Capítulo 4 – Este capítulo apresenta o *framework* do modelo de referência PLM2M como resultado da aplicação de conceitos e melhores práticas de PLM e manufatura digital e da investigação (estudo de caso) na MWM International/Navistar. Com foco na indústria automotiva, chama a atenção para a relação entre o fluxo das informações representado pelo ciclo de vida do produto (PLM) e as atividades envolvidas em um programa automotivo representadas, muitas vezes, por um cronograma físico-financeiro para movimentação de recursos.

No contexto do *framework* de referência PLM2M, são apresentadas as visões funcional (que destaca os padrões de comunicação e interoperabilidade em ambientes heterogêneos), lógica (que destaca as exigências básicas para o gerenciamento do fluxo de trabalho) e de aplicação (que destaca as ferramentas PLM para colaboração). Ainda, este capítulo traz uma visão ampliada de aplicação PLM2M na engenharia de manufatura e relaciona as atividades de planejamento de processos com a oferta de aplicações do Tecnomatix para sistemas de produção.

Este capítulo termina com a exposição da metodologia de aplicação do modelo PLM2M, onde sumariza em um ‘passo a passo’ as etapas de implementação. Por fim, o capítulo relaciona a aplicação do modelo PLM2M no estudo de caso da MWM International/Navistar.

Capítulo 5 - Este capítulo se preocupa em sumarizar as características e contribuições do modelo colaborativo de produtividade PLM2M para o planejamento e gerenciamento de processos de manufatura. Destaca as lições aprendidas, recomendações, trabalhos futuros e, de forma prática, concluir a resposta da pesquisa.

CAPÍTULO 2

CENÁRIOS, REVISÃO DE LITERATURA E METODOLOGIA

2.1 PLM2M, CONCEITUAÇÃO DE PLM & cPDm

O modelo colaborativo de produtividade PLM2M, que considera as ferramentas de manufatura digital do PLM, é visto como um sistema de informação abrangente, que envolve novos modelos colaborativos de negócios e várias soluções de software. Muitos são os autores que articulam sistemas de informação e modelos de colaboração em várias abordagens. Um exemplo está no trabalho de Prasad e Tata (2005), onde confirmam que esses novos modelos de negócios englobam o uso de sistemas de informação e necessitam de formas de organização que são distintas das hierarquias tradicionais. Devem oferecer aspectos como comércio eletrônico (*e-commerce*), gerenciamento da cadeia de fornecimento SCM (*Supply Chain Management*), terceirização (*outsourcing*), gestão do conhecimento e globalização, que necessitam, ao contrário de ações individuais e isoladas, ações em grupo para trabalhar de forma efetiva.

Embora Prasad e Tata (2005) tenham sua pesquisa fundamentada em regras de equipes e grupos nas literaturas de sistemas de informação, a linha de raciocínio coincide com a de Wang e Nee (2009) que conceituam o PLM como uma abordagem integrada que inclui uma série de métodos, modelos e ferramentas com foco na informação e gerenciamento de

processos, durante os diferentes estágios do ciclo de vida de um produto. As ferramentas PLM, de maneira básica, desempenham as funcionalidades para a gestão do conhecimento, o gerenciamento de dados e informações, e o gerenciamento do fluxo de trabalho (*workflow*), necessárias para os ambientes de colaboração. Wang e Nee (2009) ainda citam que a abordagem PLM é composta de ferramentas do tipo ‘*groupware*’ - categoria de aplicativos destinados a auxiliar grupos de usuários que trabalham juntos em rede ou de forma corporativa.

Prasad e Tata (2005) revisaram - no período de 1990 a 1999 - 28 *journals* de renome, que ajudaram na identificação de 220 artigos relacionados a sistemas de informação e equipes/grupos de trabalho (*teams/groups*). Os autores classificaram esse conjunto de artigos em 22 áreas e subseqüentes referências cruzadas e identificaram que o pico de publicações aconteceu na metade da década de 90, onde as principais áreas de interesse foram classificadas da seguinte forma: tomada de decisão, sistemas de suporte a decisão, fatores humanos, sistemas intra-organizacionais, gerenciamento de projeto, telecomunicações e software, além de ligações entre temas como psicologia de comportamento social nas organizações e o foco da pesquisa (*teams/group*) em sistemas de informação. Foi no mesmo período que surgiu, segundo Grieves (2006), a abordagem PLM - na metade dos anos 90 - com a evolução do uso das interfaces gráficas GUIs (*Graphical Users Interfaces*) dos computadores pessoais e tomou força no início dos anos 2000.

Gama (2011) destaca que, segundo a CIMdata (2010), no final dos anos 90, início dos anos 2000, a forte expansão e adoção da Internet e ferramentas baseadas na Web tiveram um grande impacto no desenvolvimento e utilização do PDM (*Product Data Management*) e sistemas relacionados com o reuso da informação. Além disso, as novas tecnologias de colaboração e o *e-commerce* - comércio eletrônico via Internet - facilitaram muito o trabalho colaborativo sincronizado e em tempo real, envolvendo equipes de pessoas amplamente dispersas através de sistemas interligados em rede. A CIMdata ainda afirma que este mercado - continuamente em expansão - é chamado de ‘gerenciamento colaborativo das definições do produto’ - cPDm (*collaborative Product Definition management*).

O termo cPDm, adotado pelo mercado profissional e muito pouco visto na literatura acadêmica, nasceu por volta dos anos 2000 como parte da abordagem PLM - *Product Lifecycle Management* - e reconhece a natureza estendida de soluções mais novas, além do tradicional PDM. O cPDm inclui muitas tecnologias que facilitam os processos de

trabalho colaborativo, comércio colaborativo de produtos, integração de fornecedores, integração de aplicações corporativas e um grande número de abordagens baseadas na Web. O cPDm não é apenas um conjunto de soluções de tecnologia e aplicações, é uma abordagem de negócios estratégica e aplica um consistente conjunto de soluções de negócios para gerenciar colaborativamente o ciclo de vida das definições do produto através da empresa estendida (CIMdata, acesso em fevereiro de 2010). Suítes de software como o Teamcenter da Siemens PLM, Enovia e MatrixOne da Dassault Systèmes e Windchill da PTC representam a classe de produtos cPDm do PLM, entre dezenas de outros produtos existentes no mundo, a maioria deles com soluções customizadas para problemas mais específicos. No final de 2011 foi anunciado o Autodesk PLM 360 que, além das características básicas do cPDm, trabalha no conceito ‘*cloud computing*’ (computação na nuvem) e na forma de entrega SaaS (*Software as a Service*) - software como serviço (GAMA, 2011).

Gama (2011) ainda afirma que o cPDm é a base do modelo de produtividade PLM2M, que engloba as aplicações de manufatura digital do PLM. Conforme segmenta a CIMdata (www.cimdata.com), as ferramentas cPDm estão entre os três sub-setores do mercado de PLM (cPDm, ferramentas de autoria CAE/CAD/CAM e manufatura digital) e colaboram na definição do produto para sustentar toda uma estrutura de dados - na forma de um único repositório de informações - para que a área de engenharia de processos, a produção, o chão de fábrica, a área de qualidade, as áreas de gestão e logística, áreas afins, fornecedores e clientes possam colaborar os dados de desenvolvimento de produto na forma de empresa estendida. Para reforçar, Grieves (2006) destaca o início do ciclo de vida digital com ênfase no desenvolvimento colaborativo do produto. Afirma que, apesar do PLM se preocupar com todo o ciclo de vida do produto, isso só faz sentido se desde o início forem implementadas técnicas e aplicações adequadas. Destaca o uso do desenvolvimento colaborativo nas necessidades de análise e planejamento do produto, projeto e engenharia. Afirma que se existir um objetivo em comum - principalmente o da redução de custos - todas as áreas funcionais podem se beneficiar da colaboração da informação. O autor batiza a colaboração da informação do produto de cPD (*collaborative Product Development*) e define o cPD como a primeira fase do ciclo de vida do produto. cPDm ou cPD traduz a necessidade da colaboração da informação tanto das empresas como do mercado.

2.2 PLM E PLANEJAMENTO DE PROCESSOS COLABORATIVOS DE MANUFATURA

Não muito diferente da maioria dos autores, a definição de PLM pode ser obtida na obra ‘Product Lifecycle Management – 21st Century Paradigm for Product Realization’ de John Stark (2005) – ainda, o autor comenta sobre os ganhos oferecidos com a abordagem PLM e afirma que muitas empresas têm melhorado seus padrões de competitividade através de implementações bem sucedidas de tecnologias PLM, reduzindo, por exemplo, os custos de desenvolvimento de produtos em 15%, o tempo de desenvolvimento de produtos em 25%, o tempo de mudanças de projetos de engenharia em 30% e o número de mudanças nos projetos em 40%. Stark (2005) ainda deixa evidente que a adoção do PLM traz um grande impacto na competitividade das organizações. Cita exemplos claros, como o da Orckit Communication que conseguiu uma redução anual de custos na ordem de 28% sobre o valor de seu inventário. A Hewlett-Packard conseguiu uma melhora de 80% no desenvolvimento de projetos e reuso de processos, causando aumento de produtividade entre 20% e 30%. A redução mensal da carga de trabalho, na engenharia da NEC Computers, foi estimada em 30% e as melhorias nos padrões de qualidade conseguiram uma redução de refugo na ordem de 39%. Saaksvuori e Immonen (2010) comentam que, nos dias atuais, cada vez mais as empresas de manufatura precisam controlar o ciclo de vida de cada um de seus produtos. O cenário exige novas e melhores formas de produzir produtos, exige flexibilidade e melhores formas de tomar decisões, com mais lucro e menos mão de obra. Para que tudo isso aconteça, as empresas precisam ter uma idéia clara da abordagem PLM, que considera as definições de produtos e processos de manufatura para cada produto.

O modelo de produtividade PLM2M está focado na melhoria de processos colaborativos de manufatura que releva as definições de produto ao longo de seu ciclo de vida e considera a interoperabilidade de informações e do conhecimento. Deixa de visualizar uma manufatura clássica que se apóia nos estágios de projeto de produto, desenvolvimento de processos, produção e ferramentas tecnológicas associadas (SILLER et. al, 2009) - onde a comunicação entre departamentos é feita de uma forma linear e muitas vezes existe ruptura. No artigo ‘Extending PLM to the Shop Floor’, Mayer e Plapp (2008) afirmam que a demanda

pelo gerenciamento do ciclo de vida do produto é muito grande, especialmente se o produto é complexo e sujeito a regulamentações.

Mayer e Plapp (2008) complementam com o fato de que a linha entre o mundo virtual de projetos e a realidade de manufatura está - muito rapidamente - se tornando nublada. A tecnologia está ajudando a quebrar as ‘muralhas’ que frequentemente impediam um acesso rápido e fácil da informação e está expandindo as oportunidades para a colaboração. Também comentam que hoje é possível compartilhar e visualizar grandes quantidades de dados entre os departamentos de uma empresa, instalações e na rede de fornecedores. Com isso, pode-se reduzir os ciclos de tempo, melhorar a qualidade e eficiência, e ainda, apoiar decisões de planejamento estratégico. Nesse sentido, vale destacar a revisão de literatura de Siller et al. (2009) para planejamento de processo distribuído e colaborativo e que serviu de inspiração para o modelo PLM2M (Anexo I). A revisão mostra a evolução e características da tecnologia da automação de planejamento de processos entre os anos de 1998 e 2008 e situa o surgimento da abordagem PLM no planejamento de processos de manufatura. Os autores afirmam ter encontrado artigos de pesquisa e protótipos diversificados em termos de funcionalidades, protocolos de comunicação, linguagens de programação e representações de estruturas de dados, porém não citam gerenciamento de portfólio, gerenciamento de programas ou gerenciamento de projetos.

Siller et al. (2009) também citam outros trabalhos, que complementam a revisão de literatura, os quais podem ser observados no sentido da manufatura baseada na Web (*web-based*) e sistemas colaborativos. Confirmam - assim como Mayer e Plapp (2008) - as tendências de futuro em tópicos como integração, segurança, flexibilidade e interoperabilidade. Um fato importante, destacado na revisão de Siller et al. (2009), é que a grande maioria dos trabalhos acadêmicos está baseada na necessidade de integrar as atividades de planejamento de processos em diferentes estágios - projeto do produto, processos de desenvolvimento e processos de produção. Sumarizam os principais resultados da revisão em três tópicos: (1) a infraestrutura de tecnologia usada para o planejamento de processo distribuído e colaborativo é predominantemente baseada em Java, XML (*eXtensible Markup Language*) e VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) - isso mostra a possibilidade do uso de aplicações com arquiteturas heterogêneas, assim como tendências para o uso de modelos 3D e visualização via Web; (2) um rápido desenvolvimento de sistemas baseados em agentes (*agent-based*) para o planejamento de processos - neste cenário,

os autores acusam que a dependência da experiência humana é ainda predominante, muito em função desses sistemas - que simulam modelos complexos - não abrangerem requisitos de flexibilidade para a manufatura; (3) os autores ainda citam que, embora a literatura revisada estabeleça um *'roadmap'* para a próxima geração de ferramentas comerciais, em nenhum momento pôde-se encontrar qualquer menção de gerenciamento de fluxo de trabalho colaborativo nas atividades de planejamento de processos com foco no conceito de empresa estendida.

Esse panorama de Siller et al. (2009) leva a entender que a abordagem de empresa estendida aplicada nas atividades de planejamento de processos de manufatura, pelo menos até o ano 2007, não acusava um modelo colaborativo de planejamento de processos de manufatura. A revisão também indica que o *framework* de Ming et al. (2008), para planejamento e manufatura de processos colaborativos com base na abordagem PLM, marca uma referência. Foi nesse mesmo período, em novembro de 2008, que a MESA International (www.mesa.org), com o patrocínio da Siemens, SAP, TCS (Tata Consulting Services) e Lógica, lançaram um guia denominado *'Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook'*, onde a MESA afirma que, embora as raízes do PLM tenham iniciado nos domínios das indústrias de manufatura discreta, eletrônica, máquinas e dispositivos, atualmente os conceitos do PLM estão sendo aplicados a muitas outras indústrias como bens não duráveis, bens de varejo, vestuário e indústrias regulamentadas - como alimentos, higiene, cosméticos, farmacêutica e outras. O guia destaca a relevância do PLM em relação aos tradicionais sistemas de execução e gerenciamento de manufatura, os sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*). Diz que o domínio predominante da execução da manufatura está nas plantas e fábricas que produzem o produto físico, esses produtos são manufaturados a partir de uma definição virtual que essencialmente tem início no PLM. A definição virtual abrange o produto e seus atributos e a definição de processos, pelos quais os produtos são manufaturados (GAMA, 2011).

2.3 PLM2M E FERRAMENTAS DE MERCADO

No caso do modelo de produtividade PLM2M foram analisadas, muito em função da proposta do estudo de caso na MWM International, a concepção de aplicação da suíte de software Teamcenter, que por definição da matriz Navistar foi o produto escolhido como padrão de software de colaboração para as engenharias, e a concepção da suíte Tecnomatix como pretensão de adoção para aplicação das ferramentas de manufatura digital nas áreas de manufatura e produção, ambas as suítes da Siemens PLM Software em colaboração com soluções de CAE/CAD/CAM, sistemas de gerenciamento de chão de fábrica, sistemas de execução de manufatura MES, sistemas de planejamento e controle de produção PCP e sistemas de planejamento e controle de gestão empresarial ERP. A proposta da colaboração, com base nas atribuições que o PLM oferece, é cada vez mais unificar e encurtar os processos do ciclo de vida do produto e produção com o alinhamento do uso da informação e do conhecimento.

O Tecnomatix é uma solução de manufatura digital para ambientes específicos de manufatura - tem como proposta oferecer uma abrangente suíte de softwares para o planejamento digital de processos, desde a engenharia de processos (ou engenharia de manufatura) até a execução e gerenciamento do chão de fábrica, em uma estrutura integrada e interoperável. A Siemens PLM Software elege três definições para a manufatura digital (GAMA, 2011):

- A manufatura digital é uma combinação de software e métodos de manufatura que transforma processos de produção e iniciativas de negócios relacionados à manufatura. Proporciona baixos custos, maiores receitas e lucros - consegue muito mais das operações de produção, inovação em produtos e melhores conformidades comerciais;
- A manufatura digital é um componente essencial das iniciativas de gerenciamento do ciclo de vida de produtos (PLM) que auxilia o projeto, a validação e a execução de processos de produção de classe mundial ‘*world-class*’. Algumas empresas de manufatura chamam esse esforço de ‘projeto de produto dirigido a processos’ (*process-driven product design*);

- A manufatura digital é o ‘sistema de registro’ (*knowledge*) que proporciona excelência em operações de manufatura. Como parte da abordagem PLM preenche a lacuna que existe entre o projeto do produto e a entrega do produto, por gerenciar o projeto e a execução dos processos de manufatura em um ciclo fechado (*closed loop*) de melhoramento contínuo.

Gama (2011) cita a importância do ponto de vista de negócios, diz que o foco atual está na melhoria do gerenciamento dos processos de produção das empresas de manufatura e no conceito de empresa estendida que inclui a rede de fornecimento (*supply net*). Nesse sentido, a manufatura digital - também denominada pela Siemens PLM Software de MPM (*Manufacturing Process Management*) - é uma iniciativa que permite, com profundidade, combinar a experiência de produção com a excelência da tecnologia, para gerenciar as informações que possam resolver os problemas de produção e sobrepor os desafios antecipadamente.

Gama (2011) ainda afirma que a manufatura digital - do ponto de vista da Siemens PLM Software - oferece agilidade para que seja possível conseguir um volume de produção mais cedo e entregar uma maior variedade (*mix*) de produtos, características chave nos programas de maximização de resultados, receitas e lucros. Com a manufatura digital é possível desenvolver um processo de produção em um ‘centro de prototipagem digital’ e com muita facilidade transferir essa experiência, para a produção em volume, em um ‘centro de produção real’. Isso significa, de forma clara, maior flexibilidade nos negócios e maior controle de custos, principalmente quando se trata de recursos globalizados e dispersos. A manufatura digital permite que a inteligência da produção seja colaborada no planejamento de produção de um produto para antecipar e resolver gargalos, com a finalidade de ajustar picos de produção com picos de demanda.

Ainda, a Siemens PLM Software diz que a manufatura digital se apóia em um conjunto de competências que proporciona um início de produção mais cedo, um ‘*ramp-up*’ mais rápido e recursos inigualáveis de flexibilidade de produção. Apóia-se também na comunicação efetiva entre as engenharias de desenvolvimento do produto, engenharia de manufatura e chão de fábrica, tudo baseado no planejamento eletrônico de processos (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Planejamento eletrônico de processos da Siemens PLM Software.

Fonte: ‘CXOs: Meet your new core competency - digital manufacturing’.

Esse planejamento eletrônico, ao mesmo tempo, armazena e reconcilia as necessidades do projeto de produtos (CAD/PDM) com todos os recursos necessários e disponíveis para a fabricação do produto e as respectivas operações de manufatura (ERP, MES etc.) que possam ocorrer no processo de produção. A manufatura digital garante que o compartilhamento da informação - entre as muitas regras e empresas envolvidas em um processo de produção - se torne mais seguro e também garante a entrega de produtos de forma mais bem sucedida ao mercado.

A suíte de softwares Tecnomatix (Figura 2.2) é composta de sete módulos: (1) planejamento e validação de peças; (2) planejamento e validação de montagem; (3) robótica e planejamento de automação; (4) projeto e otimização de fábricas; (5) gerenciamento de qualidade; (6) gerenciamento de produção; e (7) gerenciamento do processo de manufatura. Esses módulos do Tecnomatix se subdividem em pacotes comercializáveis de software (*bundles*) como, por exemplo, o FactoryCAD Floating, FactoryFLOW e FactoryPLAN/OPT para apoio no projeto de fábrica, o Jack (Motion Capture, Playback, Occupant Packaging, Task Analysis, Bodyscan) e o Jack 3D para simulação de ergonomia, o Process Designer, Automated Process Generator e Process Simulate, para planejamento e simulação de processos de produção, o Planning Logistics, Plant Simulation Integration e Line Balancing para planejamento e simulação discreta de ambientes de produção, o Robcad Integration,

KUKA Float, ABB Float para simulação *off-line* de robôs, o RealNC Float, RealNC Optimization Float e Machine Configurator Advanced Float para simulação de máquinas de controle numérico e, ainda, uma série de produtos de apoio como Layout Integration, BOP Web Reporting, Commissioning Float, Standard Interface Package Float, Teamcenter Visualization Mockup, Teamcenter Visualization Animation Creation Optimization, In Context Editor (ICE), entre outros.

Figura 2.2 – Esquema da hierarquia dos módulos do software Tecnomatix.

Fonte: Siemens PLM Software.

Gama (2011) também atenta claramente que todos os módulos se apóiam no ‘gerenciamento do processo de manufatura’ (MPM – *Manufacturing Process Management*), que é representado por um dos módulos do software Teamcenter. Este módulo do Teamcenter, que frequentemente é utilizado como interface com o Tecnomatix, permite o gerenciamento de dados de produção, dados de processos, recursos e reuso do conhecimento de chão de fábrica, tudo no mesmo ambiente. Faz parte do subsetor cPDm do PLM segmentado pela CIMdata e da conotação cPD denominada por Grieves (2006), conotação esta usada para gerenciar as definições de produtos. Com uma única fonte de dados, o Teamcenter permite relacionar, de forma associativa, informações de lista de materiais BOM (*Bill of Materials*) com listas de processos BOP (*Bill of Process*) de manufatura. Essa relação

entre listas pode ser usada, juntamente com os recursos de configuração do Teamcenter, para colaborar com o uso das informações corretas do produto no planejamento e na execução da manufatura.

Ainda, o Teamcenter (Figura 2.3) permite que se integrem soluções específicas de disciplinas como o layout de plantas, modelagem de dados e gestão de qualidade, e reúne recursos distribuídos para que se possam consolidar conhecimentos. A arquitetura aberta orientada a serviço SOA (*Service-Oriented Architecture*) do Teamcenter permite integrar sistemas CAM (*Computer Aided Manufacturing*), ERP e MES a ambientes PLM, com modelos de processos padronizados e instruções de trabalho automatizadas, que simplificam a transferência de informações do planejamento para o chão de fábrica. O Teamcenter é o ‘core’ (núcleo) da solução de manufatura digital Tecnomatix da Siemens PLM Software. Os demais módulos do Tecnomatix, cada um, se relacionam entre si, e podem usar o Teamcenter como repositório único de dados. Os módulos representam as diversas disciplinas da engenharia e manufatura, cada qual com sua especialidade.

Figura 2.3 – Estrutura funcional da suíte Teamcenter. Fonte: Siemens PLM Software.

Outra aplicação do Teamcenter, no que se refere ao suporte para o modelo de referência PLM2M - PLM *to Manufacturing* - abrange atividades, relacionamentos e

resultados, representados pela gestão de projetos. Esse universo é suportado pelo módulo de gerenciamento de portfólio, programas e projetos (Figura 2.4), uma solução que integra programa, projeto e PLM no contexto de gerenciamento portfólio de produtos. Segundo Tahara (2008) e Rozenfeld (2011), a gestão de portfólio é um tema que tem crescido muito nos últimos anos, isso se dá pela busca de melhores projetos tanto em termos financeiros como em termos estratégicos, assim como a necessidade de se alcançar melhores resultados com o mínimo de recursos.

**Solução de
Gerenciamento de
Portfólio, Programas e
Projetos no Teamcenter**

Figura 2.4 – Destaque do módulo ‘Portfolio, Program & Project Management’ na estrutura funcional da suíte Teamcenter. Fonte: Siemens PLM Software.

Tahara (2008) e Rozenfeld (2011) ainda destacam que o tema ‘gestão de portfólio’ é tratado tanto pela gestão de projetos quanto pela gestão de desenvolvimento de produtos. Afirmam que existem grandes semelhanças entre os focos dados pelas duas áreas, uma vez que o desenvolvimento de produtos é normalmente gerenciado por projetos. Uma pesquisa realizada em 2008 pelo Boston Consulting Group indica que a dificuldade para selecionar os projetos de inovação certos para comercialização está entre os três maiores

desafios enfrentados pelas empresas na geração de retorno de investimento (ROI), entre suas iniciativas de inovação de produtos. Os outros dois maiores desafios estão no longo prazo de desenvolvimento e na superação de uma cultura de negócios avessa a riscos (SIEMENS PLM SOFTWARE, 2010).

O modelo de produtividade PLM2M também está embasado na gestão de portfólio de programas e projetos de produtos que, segundo Tahara (2008) e Rozenfeld (2011), consiste em um processo de decisão realizado no início do processo de desenvolvimento de produtos, onde é selecionado o conjunto de projetos de produtos que melhor atende os requisitos e necessidades definidos pela empresa. A diferença do modelo PLM2M em relação à manufatura clássica, que muitas vezes tem a informação armazenada em silos, está justamente em incorporar a melhoria de planejamento de processos colaborativos de manufatura (com o uso de ferramentas de manufatura digital e de gerenciamento de processos de manufatura - MPM) às definições de produto – ao longo de seu ciclo de vida – dentro de cenários de colaboração de TI. Em outras palavras, isso só é possível porque a ferramenta Teamcenter, que está incorporada ao modelo PLM2M, consegue - no aspecto de gerenciamento de portfólio - analisar e reportar dados de processos de engenharia (mecânica/mecatrônica), processos de manufatura, requisitos, listas de materiais, regulamentações, receitas e manutenção de chão de fábrica - tudo dentro do conceito de empresa estendida, que considera a empresa como um todo, parceiros, clientes e o envolvimento da rede de suprimentos. O Teamcenter, alicerçado pela gestão do conhecimento, permite estabelecer um ambiente colaborativo de TI, dentro de um fluxo de trabalho previamente definido e ainda permite a aplicação e gerenciamento de modelos de negócios estruturados em BPM (*Business Process Management*), que considera o uso do legado e práticas de computação distribuída através da arquitetura SOA, a favor de uma abrangência de governança. O mais importante, no contexto da proposta do PLM2M, é a integração do Teamcenter com cenários de simulação de ambientes de manufatura proporcionados pelo Tecnomatix. Com essa integração, é possível, dentro do aspecto de processos de decisão na gestão de portfólio de programas e projetos de produtos, relevar características de planejamento de processos de manufatura para entregar produtos no tempo certo - para um mercado dirigido pela demanda.

2.4 REVISÃO DE LITERATURA E CONTINGÊNCIAS

Inúmeros artigos retratam o conceito do gerenciamento do ciclo de vida de produtos (PLM), dentro de uma abordagem de processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Pode-se dizer que a abordagem PLM mais convencional está apoiada na trajetória das informações de definição dos produtos - em todo o ciclo de vida - para auxiliar as atividades da gestão do processo de desenvolvimento de produtos. O modelo de referência PLM2M difere da abordagem convencional, enxerga o PLM no chão de fábrica e releva a maturidade da manufatura digital, sintetiza a colaboração das soluções de TI no ‘estado da arte’ que integram o conceito PLM e valoriza a utilização da gestão de programas no contexto de gerenciamento de portfólios para o planejamento e controle dos processos de manufatura. O benefício está na melhoria de desempenho das estratégias de produtividade nas empresas de manufatura.

Nesse sentido, se fez apropriado - para o período de 2000 (quando o PLM tomou força) até 2014 - uma revisão sistemática de literatura, com o propósito de descobrir a lacuna existente (*gap*) de artigos que relacionam o tema ‘gerenciamento de portfólio de programas e projetos’ com o universo do ‘planejamento e gerenciamento de processos de manufatura’, dentro da abrangência da abordagem PLM (esquema na Figura 2.5).

Figura 2.5 – Universo para revisão de literatura na plataforma de pesquisa Web of Science.

Como partida, a amostra da pesquisa bibliográfica sobre o tema ‘PLM - *Product Lifecycle Management*’ foi obtida por vários testes de consultas (tipos de filtro) com a combinação de critérios de refinamentos definidos no mecanismo de busca da plataforma de

pesquisa *Web of Science* para todas as bases de dados do portal ISI *Web of Knowledge*, entre as quais a principal coleção da plataforma *Web of Science*, *BIOSIS Citation Index*, *Chinese Science Citation Database*, *Data Citation Index* e *SciELO Citation Index*. O resultado está exposto na Tabela 2.1 que, para o período de tempo 2000 a 2014, identificou a publicação de 134 artigos científicos.

Tabela 2.1 – Filtros de busca e resultados obtidos na plataforma de pesquisa *Web of Science* para o período de 2000 a 2014

Tipos de Filtro	Termo utilizado na pesquisa (refinamento)	Número de artigos (para todas as bases de dados ISI)
Tópico	PLM - <i>Product Lifecycle Management</i>	521
Tipo de documento	Artigo	148
Dominio de pesquisa	Ciência e Tecnologia	143
Áreas de pesquisa	Engenharia, Ciência da Computação, Sistemas de Controle e Automação, Robótica, Telecomunicações, Pesquisa e Educação, Ciência da Informação, outros temas de Ciência e Tecnologia.	134

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Para ampliar a visão sobre o universo de pesquisas sobre o tema PLM - *Product Lifecycle Management*, de forma automática a plataforma *Web of Science* gerou, para

os últimos vinte anos, dois gráficos que incluem todas as bases de dados: o primeiro exibe os itens publicados por ano e o segundo exibe o número de citações em cada ano (Figura 2.6). Percebem-se dois picos de publicações respectivamente para os anos de 2008 e 2011 e um número maior de citações para os anos de 2012 e 2013, com a média de 190 citações para cada ano, seguidos pelos anos de 2014 (170 citações), 2011 (164 citações), 2010 (140 citações) e 2009 (131 citações). Entende-se que o número de citações representa o número total de vezes que um trabalho publicado foi citado por outros trabalhos (ISI, 2014).

Figura 2.6 – Gráficos gerados de forma automática a partir da plataforma Web of Science.

Ainda, para retratar os artigos mais importantes e de maior conotação na comunidade científica, a plataforma de pesquisa *Web of Science*, a partir de fontes indexadas, permite gerar diferentes relatórios. A Tabela 2.2 exibe o relatório de citações para a classificação dos vinte primeiros itens mais citados entre os 134 artigos classificados - inclui o título do artigo, autores, periódico, data de publicação e o número de citações (maior para o menor). Vale ressaltar que os índices são apurados pelo *Journal Citation Report* (JCR), independente da base de origem. O *Journal Citation Reports* é um recurso abrangente e único que permite avaliar e comparar periódicos utilizando dados de citações extraídos de mais de onze mil periódicos técnicos e acadêmicos.

Tabela 2.2 – Relatório de citações a partir da plataforma de pesquisa *Web of Science* para o período de 2000 a 2014 - inclui todas as bases de dados

Item	Artigo/Autor(es)/Periódico/Data de Publicação	Número de citações
1	<p>A product information modeling framework for product lifecycle management</p> <p>Autor(es): Sudarsan, R; Fenves, SJ; Sriram, RD; et al.</p> <p>COMPUTER-AIDED DESIGN Volume: 37 Edição: 13 Páginas: 1399-1411</p> <p>Publicado: NOV 2005</p>	163
2	<p>Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems</p> <p>Autor(es): Kiritsis, D; Bufardi, A; Xirouchakis, P</p> <p>ADVANCED ENGINEERING INFORMATICS Volume: 17 Edição: 3-4 Páginas: 189-202</p> <p>Publicado: JUL-OCT 2003</p>	58
3	<p>Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: An application in PLM system</p> <p>Autor(es): Lee, Yu-Cheng; Sheu, Liang-Chyau; Tsou, Yuan-Gan</p> <p>COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING Volume: 55 Edição: 1 Páginas: 48-63</p> <p>Publicado: AUG 2008</p>	
4	<p>Open standard, open source and peer-to-peer tools and methods for collaborative product development</p> <p>Autor(es): Aziz, H; Gao, J; Maropoulos, P; et al.</p> <p>COMPUTERS IN INDUSTRY Volume: 56 Edição: 3 Páginas: 260-271</p> <p>Publicado: APR 2005</p>	36
5	<p>Knowledge management in process planning</p> <p>Autor(es): Denkena, B.; Shpitalni, M.; Kowalski, P.; et al.</p> <p>CIRP ANNALS-MANUFACTURING TECHNOLOGY Volume: 56 Edição: 1</p> <p>Páginas: 175-180</p> <p>Publicado: 2007</p>	32
6	<p>Developing new products with knowledge management methods and process development management in a network</p>	30

	Autor(es): Chen, Hsing Hung; Kang, He-Yau; Xing, Xiaoqiang; et al. COMPUTERS IN INDUSTRY Volume: 59 Edição: 2-3 Páginas: 242-253 Publicado: MAR 2008	
7	Research issues on closed-loop PLM Autor(es): Jun, Hong-Bae; Kiritsis, Dirnitis; Xirouchakis, Paul COMPUTERS IN INDUSTRY Volume: 58 Edição: 8-9 Páginas: 855-868 Publicado: DEC 2007	30
8	Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul Autor(es): Lee, S. G.; Ma, Y. -S.; Thimm, G. L.; et al. COMPUTERS IN INDUSTRY Volume: 59 Edição: 2-3 Páginas: 296-303 Publicado: MAR 2008	29
9	Prognostic and diagnostic monitoring of complex systems for product lifecycle management: Challenges and opportunities Autor(es): Venkatasubramanian, V Conferência: 14th European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE-14) Local: Lisbon, PORTUGAL Data: MAY 16-19, 2004 COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING Volume: 29 Edição: 6 Páginas: 1253-1263 Publicado: MAY 15 2005	29
10	Information sharing and exchange in the context of product lifecycle management: Role of standards Autor(es): Rachuri, Sudarsan; Subrahmanian, Eswaran; Bouras, Abdelaziz; et al. COMPUTER-AIDED DESIGN Volume: 40 Edição: 7 Edição especial: SI Páginas: 789-800 Publicado: JUL 2008	27
11	Manufacturing knowledge sharing in PLM: a progression towards the use of heavy weight ontologies Autor(es): Young, R. I. M.; Gunendran, A. G.; Cutting-Decelle, A. F.; et al. Conferência: 3rd International Conference on Manufacturing Research Local: Cranfield Univ, Cranfield, ENGLAND Data: SEP 06-08, 2005 INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH Volume: 45 Edição: 7 Páginas: 1505-1519 Publicado: 2007	27
12	Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things Autor(es): Kiritsis, Dimitris	26

	COMPUTER-AIDED DESIGN Volume: 43 Edição: 5 Edição especial: SI Páginas: 479-501 Publicado: MAY 2011	
13	An ontology-based approach for Product Lifecycle Management Autor(es): Matsokis, Aristeidis; Kiritsis, Dimitris COMPUTERS IN INDUSTRY Volume: 61 Edição: 8 Edição especial: SI Páginas: 787-797 Publicado: OCT 2010	25
14	Streamlining product lifecycle processes: a survey of product lifecycle management implementations, directions, and challenges Autor(es): Rangan, RM; Rohde, SM; Peak, R; et al. JOURNAL OF COMPUTING AND INFORMATION SCIENCE IN ENGINEERING Volume: 5 Edição: 3 Páginas: 227-237 Publicado: SEP 2005	25
15	Collaborative product innovation: integrating elements of CPI via PLM framework Autor(es): Sharma, A COMPUTER-AIDED DESIGN Volume: 37 Edição: 13 Páginas: 1425-1434 Publicado: NOV 2005	24
16	Technology solutions for collaborative product lifecycle management - Status review and future trend Autor(es): Ming, X. G.; Yan, J. Q.; Lu, W. F.; et al. CONCURRENT ENGINEERING-RESEARCH AND APPLICATIONS Volume: 13 Edição: 4 Páginas: 311-319 Publicado: DEC 2005	23
17	A framework for RFID applications in product lifecycle management Autor(es): Jun, H. -B.; Shin, J. -H.; Kim, Y. -S.; et al. INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING Volume: 22 Edição: 7 Páginas: 595-615 Publicado: JUL 2009	22
18	Process oriented framework to support PLM implementation Autor(es): Schuh, Guenther; Rozenfeld, Henrique; Assmus, Dirk; et al. COMPUTERS IN INDUSTRY Volume: 59 Edição: 2-3 Páginas: 210-218 Publicado: MAR 2008	22

19	Framework of a product lifecycle costing system Autor(es): Xu, X; Chen, JLQ; Xie, SQ JOURNAL OF COMPUTING AND INFORMATION SCIENCE IN ENGINEERING Volume: 6 Edição: 1 Páginas: 69-77 Publicado: MAR 2006	22
20	STEP, XML, and UML: Complementary technologies Autor(es): Peak, RS; Lubell, J; Srinivasan, V; et al. JOURNAL OF COMPUTING AND INFORMATION SCIENCE IN ENGINEERING Volume: 4 Edição: 4 Páginas: 379-390 Publicado: DEC 2004	19

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

A plataforma de pesquisa *Web of Science* permitiu refinar ainda mais a revisão bibliográfica através de novos tópicos de filtro de busca. Um tópico identifica termos no título, resumo ou palavras-chave do autor. Entre os 134 artigos encontrados no âmbito da abordagem PLM, a proposta principal foi identificar artigos que estabelecem relação entre o gerenciamento de portfólio de programas com as atividades de planejamento e/ou gerenciamento de processos de manufatura em ambientes PLM.

Foi utilizada a sintaxe "*portfolio*" OR "*program*" OR "*portfolio management*" OR "*program management*" recomendada pela plataforma *Web of Science*, que possibilita a pesquisa de termos em qualquer ordem, pesquisas de expressões exatas com o uso de aspas, palavras ou expressões completas ou incompletas com o uso de caracteres curinga (* \$?) e pesquisas com termos conectados com o uso de operadores (AND, OR, NOT e NEAR). Foram encontrados seis artigos para análise (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Tópicos refinados de filtro de busca e resultados obtidos na plataforma de pesquisa *Web of Science* para o período de 2000 a 2014

Item	Artigo/Autor(es)/Periódico/Data de Publicação	Número de citações
------	---	--------------------

1	<p>Developing new products with knowledge management methods and process development management in a network</p> <p>Autor(es): Chen, Hsing Hung; Kang, He-Yau; Xing, Xiaoqiang; et al. COMPUTERS IN INDUSTRY Volume: 59 Edição: 2-3 Páginas: 242-253 Publicado: MAR 2008</p>	30
2	<p>XML-based neutral file and PLM integrator for PPR information exchange between heterogeneous PLM systems</p> <p>Autor(es): Choi, Sang Su; Yoon, Tae Hyuck; Do Noh, Sang INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING Volume: 23 Edição: 3 Páginas: 216-228 Número do artigo: PII 919388411 Publicado: 2010</p>	12
3	<p>Active Knowledge for the Situation-driven Control of Product Definition</p> <p>Autor(es): Horvath, Laszlo; Rudas, Imre J. ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA Volume: 10 Edição: 2 Edição especial: SI Páginas: 217-234 Publicado: 2013</p>	4
4	<p>Template-Based Integrated Design Environment for Rocket Design</p> <p>Autor(es): Hu, Chunsheng; Xu, Chengdong ADVANCED SCIENCE LETTERS Volume: 4 Edição: 8-10 Páginas: 3187-3192 Publicado: AUG-OCT 2011</p>	1
5	<p>PLM Software Selection Model for Project Management Using Hierarchical Decision Modeling With Criteria From PMBOK (R) Knowledge Areas</p> <p>Autor(es): Eastham, James; Tucker, David James; Varma, Sumir; et al. EMJ-ENGINEERING MANAGEMENT JOURNAL Volume: 26 Edição: 3 Páginas: 13-24 Publicado: SEP 2014</p>	0
6	<p>Um modelo quantitativo para a gestão da inovação em portfólio de produtos A quantitative model for innovation management in product portfolio</p> <p>Autor(es): Danilevicz, Ângela de Moura Ferreira; Ribeiro, José Luis Duarte Gestão & Produção Volume: 20 Edição: 1 Páginas: 59-75 Publicado: 2013-03</p>	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

O artigo ‘*Developing new products with knowledge management methods and process development management in a network*’ de Chen et al. (2008) trata o problema de desenvolvimento de novos produtos (NPD) em redes de cooperação. Discute os fatores críticos de sucesso (CFS) entre parceiros estratégicos simplificando um conjunto de 37 CFS em dez itens dentro de três grupos, com o uso de análise de fator e o método Delphi. Os autores afirmam que o processo de hierarquia analítica (AHP) é capaz de contribuir com os problemas gerenciais de desenvolvimento de novos produtos (NPD) principalmente por generalizar os julgamentos subjetivos dos especialistas, porém alertam que o processo AHP não é capaz de lidar com a inter-relação entre fatores e incertezas do julgamento humano. Para compensar essa deficiência, os autores propõem um processo analítico para tratar redes de cooperação denominado ANP (*Analytical Network Process*), que incorpora procedimentos de análises sensitivas (ao contrário do popular método *fuzzy* AHP), para que as empresas possam evoluir nos critérios de decisão em redes de cooperação.

Entretanto, os autores ainda chamam a atenção para o fato de que desenvolver novos produtos com parceiros estratégicos em redes de cooperação está associado de forma positiva com eficiência e efetividade e de forma negativa com a inovação. Nesse cenário, destacam o PLM como um facilitador para que as empresas consigam operar com eficiência, efetividade e inovação no mix de desenvolvimento de novos produtos (NPD), principalmente por incluir o gerenciamento do conhecimento (KM) e o gerenciamento das informações de desenvolvimento de processos.

Ainda destacam com muita clareza o papel do gerenciamento de portfólio no contexto da gestão de projetos relacionado com os fatores críticos de sucesso (CFS) para a seleção de desenvolvimento de novos produtos. Confirmam que o gerenciamento de portfólio é um processo dinâmico de decisão, onde recursos são alocados ou realocados para projetos ativos durante cada estágio. Também chamam a atenção para as incertezas e informações obscuras, riscos ou oportunidades desconhecidos, múltiplos objetivos, seleção de estratégias, interdependência entre diferentes projetos, opinião de múltiplos decisores (*decision-makers*) e recursos dispersos, onde tudo interfere na decisão do portfólio. Comentam que as decisões de portfólio são desafiadoras pela dificuldade de alocar, na maioria das vezes, investimentos (*budget*) escassos em períodos subsequentes, principalmente pelas incertezas e frequentemente por produtos interdependentes que concorrem pelos mesmos recursos. Os autores afirmam que em situações como essas, de incertezas e de alocação de recursos no

produto certo, o modelo ANP, que incorpora procedimentos de análises sensíveis e aplicações PLM, aumenta em muito a probabilidade de ter sucesso na escolha do mix NPD para o desenvolvimento de novos produtos. Concluem que a efetividade e o desempenho do método ANP podem ser comprovados com o uso da metodologia *Balanced Scorecard* (BSC).

O artigo '*XML-based neutral file and PLM integrator for PPR information exchange between heterogeneous PLM systems*' de Choi et al. (2010) endossa o PLM como um paradigma de manufatura mais inovativa e reforça o uso do PLM na empresa estendida. Destacam que o PLM proporciona a total compreensão das decisões de engenharia do produto e respectivo portfólio no contexto de processos, recursos e planta. Chamam a atenção para a criação, gerenciamento e coordenação das informações relacionadas aos ambientes de manufatura e expõem que, geralmente, os sistemas PDM - *Product Data Management* - são estendidos para sistemas PLM para gerenciar as informações de produtos, processos e recursos PPR (*product, process, resource*) através do ciclo de vida do produto.

Levantam o problema para a troca de dados, arquivos e informações entre sistemas PLM heterogêneos e definem o PPRX como um formato padrão de dados, que usa XML (*eXtensible Markup Language*) como um arquivo neutro para informações PPR e integração de PLM, para suportar sistemas comerciais PLM heterogêneos e outros sistemas não PLM. Propõe um estudo de caso para uma empresa automotiva onde a troca de informações PPR pôde ser feita sem prejuízos e sem esforços desnecessários - a proposta com o uso do formato PPRX foi favorecer a implementação do PLM para suportar a integração e compartilhamento de informações de forma efetiva. Ainda, os autores embasam o formato PPRX pelo fato de que as empresas geralmente usam muitos e diferentes sistemas de gerenciamento de informações, o que torna o fato um sério obstáculo para a adoção do PLM (SHOAF, 2001). Também complementam que muitas empresas implementam os sistemas PDM no lugar do PLM porque os problemas do gerenciamento de informações heterogêneas ficam apenas no âmbito dos sistemas CAD, PDM e EDM (*Engineering Data Management*), enquanto o PLM aborda a empresa estendida - a empresa como um todo, colaboradores, fornecedores e clientes.

Como história, Choi et al. (2010) descrevem a evolução da padronização de formatos de dados. Comentam que nos anos oitenta muitos países propuseram um formato neutro para troca de informações geométricas entre vários sistemas CAD e complementam - Moeck (1990) cita o IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*), desenvolvido nos EUA

no final dos anos setenta, como um formato de troca de dados para ambientes de tecnologia - um dos formatos mais usados para troca de dados em ambientes CAx (NIST, 1996). Zhang et al. (2000) citam o formato STEP (ISO 10303), um *framework* de intercâmbio de dados de produtos para ambientes virtuais. Em 2000 nasce o STEP-Compliant NC, um formato comum para sistemas CAD, CAPP, CAM e CNC, com a principal característica de traduzir e integrar o conhecimento entre ferramentas de máquinas CNC, fornecedores e mercado (ISO, 2000). Schlenoff e Gruninger (2001) citam o formato PSL (*Process Specification Language*), como proposta de padrão internacional para troca de informações em processos de manufatura em todo o ciclo de vida do produto, desde estágios mais cedo como o projeto, planejamento de processos e validação até a programação e controle da produção. Burkett (2001) cita o PDML (*Product Data Markup Language*) como um conjunto de esquemas XML para resolver a estrutura e entrega de dados de produto. Na sequência Gong et al. (2007) citam o XSLT, com novos esquemas XML, como uma forma de resolver o problema de processamento e integração da informação em ambientes heterogêneos. Choi et al. (2010) ainda citam o PLMXML da Siemens PLM Software (2008) como um formato que emergiu para facilitar o uso da interoperabilidade da informação usando XML para ambientes PLM.

O artigo '*Active Knowledge for the Situation-driven Control of Product Definition*' de Horvath e Rudas (2013) conceitua, com o uso de APIs (*Application Programming Interfaces*), um novo método para alcançar, de forma avançada, mais valor (*higher-level*) em modelos de desenvolvimento de produtos no âmbito do gerenciamento de ciclo de vida de produtos - PLM. Os autores identificam novas oportunidades de melhoria em modelos de definições de processos e representações que consideram o valor do conhecimento de forma mais ativa no modelo do produto. A pesquisa é motivada pela tendência industrial de sistemas de modelagem de produtos para uma geração de modelos adaptativos com foco em decisões globais ou em nível de produto. Afirmam que os modelos de definição de produtos em uso consistem de características e conexões contextuais não estruturadas para a formação de recursos (*features*). Tais características não estruturadas alteram o verdadeiro valor do modelo do produto produzindo definições e conexões com características incorretas. O novo método sugere aplicar, de forma adaptativa, o conhecimento de forma ativa principalmente para mudanças das características e especificações do modelo do produto (componentes, montagens, documentos de processos e ordens de instruções).

O artigo '*Template-Based Integrated Design Environment for Rocket Design*' de Hu e Xu (2011), focado na complexidade e alta iteração para projeto de mísseis (*rocket*), propõe um *template* (modelo) com base em arquitetura de ambientes de projeto integrados TIDE (*Template-based Integrated Design Environment*). Os autores destacam que são empregadas importantes metodologias como IDE (*Integrated Design Environment*) para integrar as disciplinas de projeto, PLM para o gerenciamento das informações dessas disciplinas e KM (*Knowledge Management*) para o gerenciamento do conhecimento, todas essas metodologias para simplificar a arquitetura e as atividades dos ambientes de projeto. O template oferece um ambiente de projeto uniforme, reduz o número de interações com as aplicações de programas e diminui os obstáculos de comunicação, tudo para a execução de projetos de forma rápida. Validam o modelo com um processo típico de projeto de mísseis através do protótipo de uma arquitetura de sistema desenvolvida e testada.

O artigo '*PLM Software Selection Model for Project Management Using Hierarchical Decision Modeling With Criteria From PMBOK (R) Knowledge Areas*' de Eastham et al. (2014) apresenta uma metodologia para orientar a seleção de software PLM. Como processo primário, a metodologia incorpora a modelagem de decisão hierárquica HDM (*Hierarchical Decision Modeling*) e utiliza as nove áreas de conhecimento do PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*, 2008) através da comparação de pares (*pair-wise*) para diferentes ofertas de sistemas PLM. Utiliza a abordagem '*five-process gate approach*' onde são analisados cinco requisitos para a seleção do software PLM: critérios de busca (*researched*), critérios de classificação (*sorted*), critérios de correlação (*paired down*), critérios de avaliação/*assessment* (*evaluated*), e critérios de implementação (*implemented*). O modelo é validado através de inúmeras aplicações em diferentes indústrias - automotiva, tecnologia da informação e semicondutores.

O artigo '*A quantitative model for innovation management in product portfolio*' de Danilevicz e Ribeiro (2013) apresenta um modelo quantitativo denominado DEIN (*Strategic Decision Making on Innovation*) para auxiliar decisões estratégicas a respeito do gerenciamento da inovação (espontânea ou induzida). O *framework* do modelo, construído com base em entrevistas e revisão de literatura, possibilita avaliar diferentes elementos envolvidos no gerenciamento da inovação: (i) ideias associadas à inovação de produtos ou processos; (ii) competitividade dos produtos existentes; (iii) inovação associada ao portfólio existente; (iv) competitividade de novos produtos e (v) nível de inovação da empresa. O uso

do modelo DEIN auxilia as empresas na decisão de quais produtos do portfólio devem ser mantidos, descontinuados, melhorados ou inovados. Os autores ainda citam que o modelo foi desenvolvido com base em estudos realizados em duas companhias, uma do mercado automotivo e outra do mercado de cabos de ancoragem de plataformas marítimas.

No curso da pesquisa outras referências de cunho científico ou de senso complementam a revisão de literatura no sentido de evidenciar o que existe de mais atual - estado da arte - no cenário de colaboração das soluções de TI que integram o conceito PLM e valoriza a utilização da gestão de programas no contexto de gerenciamento de portfólios para o planejamento e controle dos processos de manufatura. Percebeu-se, de fato, que entre os artigos mais citados, de acordo com os respectivos filtros de busca, não houve a evidência de uso das aplicações de Manufatura Digital, nem tão pouco a visão do PLM no chão de fábrica integrada ao gerenciamento de portfolio de programas e projetos no sentido de considerar os desafios da empresa estendida para ambientes colaborativos nas empresas de manufatura.

O problema de conexão (interface), que destaca o compartilhamento de dados e informações e transferência do conhecimento entre os ambientes de engenharia, produção e operações comerciais, foi evidenciado no artigo de Choi et al. (2010) que inclusive destaca o PLMXML da Siemens PLM Software (2008) como um formato para facilitar o uso da interoperabilidade entre esses ambientes. O conhecimento da automação industrial e simulações reais em fábricas digitais para soluções PLM ‘*end-to-end*’ completas, que integra os sistemas de execução de manufatura (MES), em nenhum momento foram explorados. Outro ponto importante não explorado nos artigos analisados, em relação às empresas de manufatura, foi o de melhoria de processos (lógica de processos) e fluxo de dados para ajuste da capacidade de produção em relação à demanda. Uma ideia de outras necessidades, para perceber as tendências da indústria, fica clara na analogia entre a revisão de artigos científicos e o senso do mercado corporativo. Martins (2010) julga a ciência como uma metamorfose do senso comum - no caso o senso corporativo; sem o senso comum a ciência não pode existir.

2.4.1 Visão Corporativa – Analogia com o Ambiente Acadêmico

Gama (2011) cita que, em agosto de 2007, um caso importante no cenário de colaboração de TI foi publicado por Kevin Kelly - editor da revista e portal 'Automotive Design Production'. Kelly (2007) descreve o principal motivo da aquisição da UGS PLM (atual Siemens PLM Software) pela Siemens Corporation. No artigo intitulado 'The Importance of MES-PLM Integration', Kelly (2007) ressalta a necessidade que as empresas têm de melhorar seus recursos para conseguir sobrepor os desafios de um mercado globalizado.

Na época, Tony Affuso - presidente e CEO da UGS - usou no artigo o termo '*Moving Ahead*' (Movendo Adiante) para expressar o seguinte: "Este termo define que os projetos de produto e produção devem andar lado a lado nos negócios". O objetivo é desenvolver um sistema baseado em software que integre o conhecimento de automação industrial da Siemens - desenvolvido pela divisão '*Automation and Drives*' - e combinar a infraestrutura de PLM oferecida pela UGS para superar as barreiras que têm impedido uma solução '*end-to-end*' (completa) de PLM. Ainda, o artigo deixa claro que, uma área específica de interesse é unir as soluções de software de PLM da UGS com os sistemas de execução de manufatura (MES) Simatic IT oferecidos pela Siemens. Também no artigo, Giorgio Cuttica - na época líder das soluções Simatic IT da Siemens - relata: "A integridade de dados e processos num primeiro momento inicia no projeto de um novo produto para permitir que todas as informações sejam consideradas na planta de produção. Nós estamos considerando que a possibilidade de sincronizar uma simulação real na fábrica digital possa ser - de um modo imediato - aplicada a sistemas de controle para máquinas atuais usadas na linha". Isso permite que a área de produção teste e valide os processos de manufatura antes que eles entrem em execução, desta forma, possibilitando a redução de tempo de desenvolvimento de produto e a integração de mudanças no processo de produção de uma maneira mais efetiva e econômica. Listas de materiais BOM (*Bill of Materials*) e listas de processos BOP (*Bill of Process*) globais podem ser testadas e validadas para a solução proposta, além de facilitar a melhoria de uma manufatura mais '*just-in-time*' e mais '*just-in-sequence*' (KELLY, 2007).

Ainda no artigo, Chuck Grindstaff - na época, vice-presidente de produtos da UGS, destacou: "Outro benefício importante para nosso projeto é a pretensão de melhorar a

utilização de capacidade de produção e uma análise mais fiel dos processos de manufatura, além de um melhor reuso dos ativos na planta”. Um problema comum com a conexão (interface) de produção e operações de desenvolvimento de produto tende a ser a precisão do compartilhamento de dados. O artigo ressalta que as equipes de projeto estão focando na melhoria de qualidade dos dados compartilhados entre as disciplinas, um processo que eles denominam de ‘manufatura adaptativa’ - (*adaptive manufacturing*). Também no artigo, percebe-se uma forte conotação para melhorar as barreiras do fluxo de dados entre as áreas funcionais. O artigo deixa claro que se essas barreiras forem ultrapassadas, então a possibilidade de uma total integração de dados entre desenvolvimento do produto, projeto, operações de engenharia e manufatura pode ser feita sem ferramentas de alto custo - <http://www.autofieldguide.com/articles/080709.html> - (KELLY, 2007).

Em 2009, a Intercim e a Dassault Systèmes (DS), em função de uma parceria de longa data, fortaleceram uma aliança estratégica onde a Dassault se tornou um acionista minoritário da Intercim LLC - (www.intercim.com). Isso vem de encontro às tendências atuais dos sistemas MES de estabelecer colaboração entre várias outras soluções incluindo o PLM. Ainda, a Intercim complementa que em função dessas tendências na indústria, ambas as companhias - Intercim e Dassault - consideram crítico (muito importante) que a troca de informações e colaboração entre engenharia, manufatura e a rede de fornecimento, sejam tratadas em tempo real. Em março de 2011, a Dassault Systèmes acabou adquirindo a Intercim (GAMA, 2011). Mais adiante no tempo, em maio de 2013, a Dassault Systèmes entendeu que deveria adquirir uma segunda empresa de MES/MOM, a Apriso – especializada em sistemas de gerenciamento de operações de manufatura MOM (*Manufacturing Operations Management*), ampliando assim suas ofertas de manufatura digital DELMIA além dos recursos oferecidos pela Intercim para uma melhor colaboração entre o mundo físico e o mundo virtual.

2.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

O *framework* do modelo PLM2M, além de um embasamento teórico e prático (senso de mercado), e dentro do contexto científico e de negócios, está fundamentado na

metodologia estudo de caso, um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno - dentro de um contexto real contemporâneo - por meio de análise aprofundada, gerando conhecimento detalhado sobre o assunto (CAUCHICK MIGUEL, 2010). Um dos principais benefícios da condução do estudo de caso está na possibilidade de entendimento do modelo PLM2M em eventos reais. Deve-se entender que um modelo é a construção organizada de uma ideia a partir de fatos que consolidam a falta de ordem e o alinhamento de pensamentos mal formulados (MARTINS, 2010).

A missão do estudo de caso, no contexto do problema da pesquisa, é transformar conhecimentos existentes, com o uso de recursos, em novos conhecimentos para o mercado acadêmico e profissional (FLEURY, 2010). Pode-se afirmar que o modelo colaborativo de produtividade PLM2M vem da sucessão de processos de transformação de conhecimentos multidisciplinares, contribuindo assim para o avanço da sociedade como um todo. Nessa direção, a pergunta da pesquisa, a partir de referenciais teóricos e práticos, foi definida da seguinte forma:

O modelo de referência PLM2M de fato melhora a colaboração das informações e encurta os ciclos de projeto e produção nas empresas de manufatura?

A título de conhecimento, o modelo PLM2M tem como fundamento o ‘Diagrama de Colaboração da Informação’ (Figura 2.7), exposto na pesquisa de Gama (2011), onde se conclui que o valor da informação é diretamente proporcional a quanto atualizada ela está e como a informação pode, de forma ampla, estar disponível para os processos de colaboração. Além disso, as questões identificadas na revisão de literatura e questões identificadas na organização participante do estudo de caso (MWM International Motores empresa do Grupo Navistar) foram relevantes para o sucesso das análises. A pesquisa proporcionou particularidades distintas que envolvem visibilidade da fábrica, processos técnicos, de engenharia, processos operacionais de chão de fábrica, processos comerciais e de negócios, tudo associado ao modelo colaborativo de produtividade PLM2M.

Figura 2.7 – Cenário de colaboração da informação como resultado de pesquisa - (GAMA, 2011).

2.5.1 Caracterização e estruturação do estudo

Cauchick Miguel (2010) destaca que no estudo de caso não existe uma definição clara das fronteiras entre o fenômeno e o contexto onde se insere (YIN, 2001); extraído de múltiplas fontes de evidência, o estudo de caso pode ser considerado o histórico do fenômeno onde qualquer fato relevante é um dado potencial. Os principais benefícios da condução de um estudo estão na possibilidade de desenvolvimento de novas teorias e no aumento do entendimento de eventos reais. A escolha do caso para esta pesquisa foi criteriosa no sentido de constatar as significativas mudanças nos ambientes de manufatura de cenários mais clássicos para ambientes colaborativos, no modelo de empresa estendida, que consideram o conhecimento e a informação.

O estudo de caso na MWM International tem o propósito de manifestar a evidência da adoção de modelos de comunicação mais robustos - uma interface mais consistente - entre as engenharias, os ambientes de produção e os ambientes de operações comerciais, principalmente no fluxo das informações e na precisão do compartilhamento de dados. O grande objetivo, no caso MWM Internacional, está em comprovar os problemas de integração das áreas que participam do processo de manufatura para entrega de produtos com menores ciclos de projeto e produção que refletem em ganho de produtividade. É importante destacar que, na MWM International, a investigação do fenômeno se dá na ideia de suprir a hipótese da pesquisa, que se traduz na aplicação de um modelo robusto com o uso do PLM e Manufatura Digital, para cenários que envolvem principalmente a integração entre as várias engenharias de produto e manufatura, para atender necessidades de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura em ambientes complexos e dispersos. Ainda, ocorre a investigação do uso do gerenciamento de portfólio de programas e projetos e sua relação no ciclo de vida de produtos (PLM) para identificar possíveis melhorias de produtividade, melhores ajuste de capacidade de produção e reuso dos ativos da planta.

O estudo de caso na MWM International, como protocolo, foi estruturado em entrevistas, análise documental, observações, levantamento de fluxos, visitas ao chão de fábrica e situações de exposição da adorgem PLM e Manufatura Digital para as várias áreas funcionais que participaram do processo. Teve a proposta de interferir no objeto de estudo - a planta de São Paulo da MWM International Motores. No planejamento da pesquisa foram

focados vários ambientes, porém o estudo e avaliação procederam, com mais profundidade, nas atividades das áreas de engenharia de produtos (APDM, EPPG, Motor Básico etc.), engenharia de especificações (SME) e nas atividades da engenharia de processos de usinagem (EPU). Os participantes do estudo de caso foram: Dr. Eng. Celso Argachoy - na época Gerente de Projeto de Motores, Eng. Wagner Rossi de Sá - Supervisor da Engenharia de Projetos, Luciano Martins - Aplicações de Projeto & PDM, Anderson Araujo Bressam - Supervisor de Engenharia de Produto, Maurício Lordello Cortez - Engenheiro de Produto, Aurélio Ribeiro de Aguiar Jr - Técnico de Produto, Adabério Correia Diniz - Supervisor de Sistemas de Manufatura, Osmar Marinho - Engenheiro de Manufatura e MSc. Marco Aurélio Daló - Tecnólogo de Processos e Pesquisador em Manufatura.

2.6 CASO MWM INTERNATIONAL MOTORES

A MWM International Motores possui três plantas na América do Sul, sendo duas no Brasil (São Paulo/SP e Canoas/RS) e outra na Argentina (Jesús Maria/Córdoba). A MWM foi adquirida e incorporada pelo grupo Navistar International Corporation (NYSE: NAV) que é a controladora da International Truck and Engine Corporation, uma empresa que produz caminhões marca International, motores a diesel, peças MaxxForce e ônibus escolares IC Corporation. Em 2010 a MWM, incorporada ao grupo, firmou duas *joint-ventures*, uma na China e outra na Índia. A proposta é ampliar a oferta de motores para o mercado mundial. Ao todo, o grupo Navistar - www.navistar.com - é responsável, entre outros, pela produção de veículos (ônibus e caminhões) e também por motores na América Latina - com mais de quatro milhões de unidades produzidos em 60 anos de história para os mercados dos segmentos veicular, agrícola, industrial e marítimo. A Figura 2.8 traz exemplos de produtos Navistar.

Figura 2.8 – Exemplos de produtos Navistar. Fonte: <http://www.navistar.com>.

2.6.1 Escopo do estudo na Engenharia de Produtos da MWM/SP

Dentro do contexto de estudo de caso, a coleta de dados foi realizada principalmente por meio de entrevistas e vários outros protocolos como análise de cenários, processos e sistemas. Entre as várias reuniões, uma das mais importantes aconteceu em 18/05/2011 no Departamento de Engenharia de Produtos da MWM International Motores – Unidade São Paulo, onde foram definidos os objetivos iniciais e parte do escopo da proposta preliminar do projeto como ‘estudo de caso’.

Participantes da reunião:

Dr. Engº Celso Argachoy - Gerente de Projeto de Motores (na época);

Engº Wagner Rossi de Sá - Supervisor da Engenharia de Projetos;

Luciano Martins - Aplicações de Projeto & PDM;

Engº Evandro Bertoni da Gama – Doutorando SEM - PPG-AEM EESC/USP.

Objetivo principal

Teamcenter da Siemens PLM Software como plataforma de colaboração.

Projeto Piloto: Planta São Paulo - Av. Nações Unidas 22.002 - Santo Amaro.

Ficou claro que a necessidade objetiva da área de desenvolvimento de produtos na MWM/SP, para projeto de motores, é a colaboração e integração de dados de engenharia, no conceito de empresa estendida, que abrange o software de colaboração Teamcenter, os sistemas CAD/CAE (*Computer Aided Design/Computer Aided Engineering*) utilizados pela companhia, o sistema de gestão ERP/PCP (*Enterprise Resource Planning/Planejamento e Controle da Produção*) da empresa (SAP), a área de planejamento de processos de manufatura, o chão de fábrica, a cadeia de fornecedores (*Supply Chain*), a integração da área

comercial, que inclui o sistema de vendas, distribuição e CRM (*Customer Relationship Management*) e a participação da área de gerenciamento de portfólio de programas e projetos.

Como estudo e planejamento de implementação do modelo PLM2M nas engenharias de produtos e engenharias de manufatura, a proposta é alinhar as tecnologias de informação utilizadas pelo departamento de projeto de motores da MWM/SP e da empresa como um todo - atualmente incorporando várias disciplinas - com as tendências mundiais de mercado e melhores práticas de TI (Tecnologia da Informação), com o propósito de conseguir agilidade na entrega de seus projetos, proporcionando menores ciclos de programas e projetos, melhores prazos de entrega de produtos, menores custos e padrões de qualidade estabelecidos.

Atualmente a MWM/SP utiliza o Teamcenter da Siemens PLM Software como PDM (*Product Data Management*), com a função de gerenciamento de dados de produtos para o departamento de engenharia de projeto de motores, e tem a convicção de que o uso da suíte de software Teamcenter pode ser ampliada para a abordagem PLM - *Product Lifecycle Management*. A proposta é colaborar as definições de produtos ao longo de todo o ciclo de vida e ainda ter uma versão única de dados e informações para uso comum da própria unidade (planta São Paulo), demais unidades do grupo, cadeia de fornecedores e pontos importantes de sua rede logística. O objetivo do estudo é transformar ‘ilhas de conhecimento’ em uma abrangência maior que envolve ‘colaboração e interoperabilidade global’, no conceito de empresa estendida. Como ilustração, a MWM/SP, através de seu departamento de projeto de motores, tem a pretensão de se tornar ‘*benchmark worldwide*’ (referência mundial) para todo o grupo.

2.6.2 Particularidades no desenvolvimento de motores da MWM/SP

Segundo o Dr. Engº Celso Argachoy, dependendo do projeto do motor, hoje quatro ou cinco sistemas (bloco, sistema de injeção, turbocompressor, sistema de pós-tratamento de gases de escape etc.) são responsáveis por 60% do custo desse motor. No âmbito de fornecedores de mercado, esses sistemas são disponibilizados por no máximo seis empresas no mundo todo: Bosch, Honeywell, BorgWarner, Siemens etc. Isso causa enormes

problemas de ‘não flexibilidade’ de operações de projeto, principalmente no sentido de melhorias e avanços tecnológicos. Os fornecedores se limitam, na maioria dos casos, a impor seus próprios projetos para esses sistemas e a MWM, por circunstâncias atuais e também porque os prazos e custos são sempre fatores predominantes, se limita a adotar tais sistemas no projeto de seus motores. O resultado dessa relação comercial é ‘adaptar o motor em função dos sistemas’ oferecidos pelo mercado. Situação extremamente desconfortável para a MWM/SP e todas as empresas do grupo.

Nesse sentido, o grupo Navistar adquiriu a empresa americana PurePower Technologies (uma antiga divisão - que pertencia ao grupo Siemens), responsável pelo desenvolvimento e fabricação de um sistema de injeção específico para os motores Navistar. O motivo da aquisição foi para, em um projeto de médio curto prazo, desenvolver esses quatro ou cinco sistemas que consomem 60% dos custos dos motores da MWM. A proposta - no contexto do estudo PLM2M - é incluir a PurePower Technologies no modelo de empresa estendida, para colaborar e integrar dados de projeto e processos de planejamento, tendo como núcleo de colaboração o Teamcenter. A intenção do grupo Navistar, com a aquisição de novas plantas industriais, processos de *joint-ventures* e visão global, é aumentar cada vez mais sua fatia de mercado mundial.

Vale ainda destacar que na visão da alta gerência da Navistar, fabricar motores na Índia e na China para seus mercados internos, assim como para exportação, ainda é mais barato e mais lucrativo, se comparado a fabricar motores em outras plantas industriais, como nos EUA, México, Brasil e Argentina. Isso acontece devido ao fato de que a mão de obra nesses países apresenta baixos custos e também porque as adaptações e mudanças de projeto para manufatura são feitas com pouco critério – até muitas vezes infringindo padrões de qualidade. A clara preocupação, destacada pelo Dr. Engº Celso Argachoy, é que a Navistar como grupo, a curto/médio prazo, entenda a engenharia de produtos e até mesmo toda a planta de motores de São Paulo, como sem sentido comercial, em função dos baixos custos proporcionados pelas plantas da Índia e China, através das novas *joint-ventures*. A contrapartida é – definitivamente segundo o Dr. Engº Celso Argachoy – transformar o Brasil em um ‘centro de excelência em desenvolvimento’ para todo o mundo. Ele acredita que só conseguirá isso com a ajuda de sistemas de TI colaborativos e interoperáveis, no caso ter o Teamcenter como núcleo do repositório de informações cPDm (*collaborative Product*

Definition management), em uma estrutura central de dados para o gerenciamento das definições de produto e planejamento digital de processos de manufatura.

Ainda como informação, a definição do uso da suíte Teamcenter foi firmada na planta de veículos e motores, nos EUA, e estabelecida pela holding Navistar International como o padrão mundial de software de colaboração. Outros fatos são importantes para o escopo do estudo: também ficou definido pelo grupo o uso do software de CAD NX da Siemens PLM Software como padrão para desenvolvimento de produtos. Segundo o Engº Wagner Rossi de Sá, atualmente existe no Brasil uma grande dificuldade e, principalmente, muito retrabalho - no ambiente NX - em função da migração do ambiente CATIA e IDEAS, que eram usados como padrões de software (até antes da fusão MWM e International, em 2005) - quando o objetivo é responsividade, que compromete o desenvolvimento da autonomia.

Essa situação ficará mais confortável e estável com a padronização e integração de ambientes colaborativos de desenvolvimento dos motores, ou seja, com o uso do Teamcenter no conceito PLM. Para se ter uma idéia, o software Intranet Docs da ePlus Document Systems, Inc. é o sistema de colaboração da MWM/SP e trabalha em paralelo com o Teamcenter, que é usado apenas com as características de PDM. A transferência de dados do Teamcenter/PDM, que compõe a estrutura de produtos e especificações, é feita através dos projetistas que exportam os desenhos em formato .pdf para o Intranet Docs de forma manual, causando muita morosidade e incerteza na qualidade das informações, para os departamentos e plantas de interesse. Outro fato interessante é que o uso do Intranet Docs, que é um sistema que apresenta as vistas 2D de projeto e relatórios, tudo no formato .pdf, embora rápido em sua proposição, cria situações onde existem alterações executadas pela engenharia de manufatura que são feitas de forma independente e isolada da engenharia de produtos.

2.6.3 Escopo do estudo na Engenharia de Processos da MWM/SP

Ainda, dentro da condução do estudo de caso na MWM International, percebeu-se, com muita clareza, que o modelo de referência PLM2M pode ser aplicado em áreas que exigem planejamento, otimização e execução de processos de manufatura. A

pesquisa, na MWM, identificou novos grupos de usuários - além dos inicialmente identificados na engenharia de produtos – para integrar processos logísticos internos e externos (*supply net*) de manufatura.

Outra reunião importante foi realizada em 06/05/2014 no Departamento de Engenharia de Processos de Usinagem (EPU) da MWM International Motores – Unidade São Paulo, onde foram incluídos novos objetivos e complementos no escopo do estudo.

Participantes da reunião:

Marco Aurélio Daló – Tecnólogo de Processos e Mestre em Manufatura;

Engº Evandro Bertoni da Gama – Doutorando SEM - PPG-AEM EESC/USP.

Objetivo principal

Teamcenter da Siemens PLM como plataforma de colaboração;

Tecnomatix da Siemens PLM como plataforma de manufatura digital.

Projeto Piloto: Planta São Paulo - Av. Nações Unidas 22.002 - Santo Amaro.

No ambiente da MWM, o estudo incluiu a área de processos de usinagem da planta de Santo Amaro em São Paulo, em especial, o departamento de Engenharia de Processos de Usinagem (EPU) para o planejamento de novos processos de manufatura, onde são produzidos blocos, cabeçotes e outras peças para motores MaxxForce nas séries X10, X12, 229 e Sprint, que atendem níveis de emissões até Euro V, bem como o planejamento de novos processos para aplicações veiculares, agrícolas, industriais e marítimas. A saber, a entrega dos motores – que agrega a montagem, outros sistemas e peças - está configurada na unidade EPM (Engenharia de Processos de Montagem). Ainda vale destacar que a unidade de Santo Amaro também conta com o Centro Tecnológico de Desenvolvimento de Motores, onde é criada e desenvolvida a maioria dos novos produtos da MWM International.

Na engenharia de processos de usinagem EPU foi identificada, dentro de uma visão abrangente, a necessidade de integrar e cooperar vários sistemas multidisciplinares no conceito de produção colaborativa, com a proposta de alinhamento das informações, qualidade de dados e, principalmente, atender aos cronogramas de cotação solicitados pelo departamento de vendas através de um EVN – (Estudo de Viabilidade de Negócios) que inclui a data SOP (*Start of Production*), volume e especificações do produto, trazendo para a MWM a visão de gerenciamento de programas com base no modelo de referência PLM2M que inclui o PLM e a Manufatura Digital no contexto da gestão de portfólio.

A MWM atende cotações de clientes OEMs da cadeia automotiva como General Motors, MAN, Agrale, Troller, Volvo, Marcopolo, Stara, AGCO, Randon entre outros. O objetivo maior do novo cenário, com a introdução do modelo de referência PLM2M, é ajustar a capacidade de produção com as solicitações de demanda e redução dos ciclos de projeto e produção dentro de fluxos de trabalho e informações proporcionados pelas aplicações do Teamcenter e Tecnomatix da Siemens PLM.

2.7 PROPOSTA E CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS

Na MWM International/Navistar, como um todo, ficou claro um cenário talhado em ilhas de conhecimento que se relacionam através da tecnologia, porém sem um fluxo de informações concatenado: e-mails, planilhas, portais, desenhos em arquivo .pdf, documentos eletrônicos desconectados, aplicações do sistema ERP/SAP exercendo funções diversas e mal exploradas, o sistema PLM/Teamcenter totalmente subutilizado e, entre outros, o sistema de planejamento CAPPe da T-Systems para gerenciar os processos de manufatura com os requisitos de qualidade, FMEA (*Failure Model and Effect Analysis*) de produtos, processos e planos de controle, OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) etc.

Todo esse cenário dá uma idéia da necessidade do projeto de ‘colaboração e interoperabilidade’ das informações da MWM International Motores. A proposta do estudo é a de estabelecer a consciência da necessidade de formatar e aplicar novos conceitos estruturados em sistemas TIC - Tecnologia da Informação e Comunicação - como base em novos ‘modelos de processos de negócios’ - apoiados por ferramentas WfMS (*Workflow*

Management System), BPM (*Business Process Management*) e ferramentas de avaliação ‘*assessment*’ – a partir do uso do Teamcenter e Tecnomatix no conceito PLM.

Como elucidado, a suíte Teamcenter da Siemens PLM Software permite a integração de soluções específicas de disciplinas, consolida conhecimentos, faz uso da arquitetura aberta orientada a serviço SOA (*Service Oriented Architecture*) e possibilita integrar sistemas CAE, CAD/CAM (*Computer Aided Manufacturing*), PDM, manufatura digital (Tecnomatix), ERP e MES (*Manufacturing Execution System*) a ambientes PLM, com modelos de processos padronizados e instruções de trabalho automatizadas.

Os resultados esperados com a implementação do Teamcenter e Tecnomatix no conceito PLM - aplicados como novos modelos de negócios - são: oferecer ganhos significativos por conciliar os vários formatos de dados, bases de dados e interfaces de usuários; evitar desperdícios de tempo e recursos no desenvolvimento, planejamento, projeto e processos de produção de motores; minimizar custos gerais; ter como meta principal a redução do ‘*time-to-market*’ de produtos; e proporcionar maior lucratividade para a MWM International Motores, principalmente com o apoio de tomadas de decisão oferecida pela gestão de portfólio de programas e projetos.

CAPÍTULO 3

FUNDAMENTOS PARA O MODELO DE REFERÊNCIA PLM2M - PLM *TO MANUFACTURING*

3.1 VISÃO GERAL

Siller et al. (2009) apresentam um trabalho muito perto da ideia do modelo de referência PLM2M para o planejamento e gerenciamento de processos colaborativos de manufatura na empresa estendida e destacam, dentro do espectro das funcionalidades da tecnologia da informação e comunicação (TIC), as exigências necessárias para uma efetiva troca de dados, informações e conhecimento em ambientes corporativos internos e externos (*inter-enterprise*). São três os elementos em destaque: (1) padrões de comunicação e interoperabilidade em ambientes heterogêneos; (2) exigências básicas para o gerenciamento do fluxo de trabalho (*workflow*); e (3) ferramentas PLM para colaboração. Esses elementos induzem às visões funcional, lógica e de aplicação e formam a base do modelo colaborativo de produtividade PLM2M (Figura 3.1).

Figura 3.1 - Exigências necessárias para troca de dados, informações e conhecimento em ambientes internos e externos - Base do modelo de referência PLM2M - (Elaborado pelo autor) - Fonte: Siller et al. (2009).

Indo na mesma direção de necessidades e comparando com as ideias de Siller et al. (2009) com o senso de mercado, a Dassault Systèmes (2010) entende que muitas empresas têm implementado as melhores práticas de PLM e poucas têm aproveitado a real possibilidade. Ainda afirma que, quando as empresas adaptam seus processos de negócios para tirar o máximo proveito do PLM, algumas vantagens ficam evidentes: mais eficiência e efetividade nos dados do produto; colaboração através de todas as áreas de negócios, incluindo fornecedores; melhoria da inovação e experiências com clientes; superação da concorrência e vantagem competitiva sustentável. Complementando, a Siemens PLM Software (2013) defende a ideia da base de conhecimento corporativo que incorpora o produto, processos, fabricação e serviços em um único ambiente de colaboração global, tudo dentro de um contexto para melhor sincronizar as atividades, aumentar a produtividade e atingir um nível maior de inovação.

Dassault Systèmes e Siemens PLM têm se empenhado, dentro de soluções abrangentes de PLM e Manufatura Digital, aprimorando suas entregas e até criando maneiras para o mercado absorver o real entendimento de suas soluções de uma forma mais rápida e mais pronta, a exemplo do que elas denominam de impulsionadores (*boosters*) e/ou catalizadores (*catalysts*) para áreas específicas da indústria. Porém, a pesquisa aponta para uma realidade diferente: mesmo com os tais impulsionadores/catalizadores existe uma real lacuna (*gap*) entre a entrega de soluções e a absorção dessas soluções pelo mercado, que confrontam constantemente com ilhas de conhecimento, silos de dados e fluxos de trabalho não concatenados. Isso acontece por falta de uma visão clara da abordagem PLM, daí a

necessidade de modelos de referência, a exemplo do PLM2M, apropriado para alinhar os fluxos de trabalhos, dados, informações e bases de conhecimento e, ainda, encurtar os ciclos de projeto e produção em cenários de empresa estendida, que consideram recursos dispersos.

3.2 CONCEITUAÇÃO DE EMPRESA ESTENDIDA

Nos últimos anos novas estruturas organizacionais têm surgido com o propósito de atender um mercado global, dinâmico e competitivo. Empresas líderes de diferentes setores inovaram a forma de fazer negócios com estratégias como *joint ventures*, redes dinâmicas de cadeias de fornecimento, terceirização, comércio eletrônico, entre outras (SILLER et al., 2009). Como resultado dessa tendência a necessidade de trabalhar no modelo de empresa estendida ficou cada vez mais consolidado. Os conceitos de melhoria contínua, que há tempo vêm sendo aplicados para melhoria interna dos setores das empresas, passaram a ser empregados no contexto da empresa de manufatura estendida EME (*Extended Manufacturing Enterprise*), a exemplo do ciclo de melhoria PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) - (CAGLIANO et. al., 2005).

A proposta da empresa estendida é que as companhias possam trabalhar de forma conjunta para maximizar os resultados de seus negócios. A evolução dos conceitos de empresa estendida considera a estreita relação de fornecedores e, de forma direta, o planejamento da produção. O conceito de empresa estendida evoluiu muito, para se ter uma ideia, Folan et. al. (2006) propõe um método de avaliação de desempenho na comunicação entre organizações para medir a eficiência da integração e comunicação existentes entre os nós das empresas. Já Lillehagen e Karlsen (2010), com base no método orientado a processos AKM (*Active Knowledge Models*), propõem uma nova abordagem, que considera a gestão do conhecimento e o compartilhamento de melhores resultados, para convergir e integrar as engenharias da empresa estendida. López-Ortega e Cruz (2010) desenvolvem um protocolo de comunicação entre agentes (softwares etc.) para coordenar o fluxo de troca de dados na empresa estendida, com base no processo de negócio. Yan Lu et al. (2012) analisam a interoperabilidade dos sistemas de informação entre redes de empresas heterogêneas e propõem o modelo de referência SCOR (*Supply Chain Operations Reference*) com base em

um estudo ontológico (investigação da existência). Pode-se encontrar dezenas de iniciativas para o modelo de empresa estendida.

O fato é que, padrões de empresa estendida emergiram como redes de organizações independentes e geograficamente dispersas que trabalham de forma colaborativa para conseguir objetivos comuns com a ajuda da tecnologia da informação e comunicação (TIC). O conceito de empresa estendida é muito mais do que a união de diferentes empresas para produzir um produto. Está baseado em um paradigma organizacional para satisfazer não somente as necessidades de clientes, mas a necessidade das pessoas envolvidas em todos os estágios do ciclo de vida do produto, a exemplo do projeto do produto, manufatura ou reciclagem. Em um cenário mais clássico se comparado à empresa estendida, a estrutura organizacional tradicional é composta de departamentos isolados com funções limitadas, a comunicação entre departamentos e fornecedores é feita de uma forma rígida e linear e na maioria das vezes proporciona rupturas no fluxo de trabalho e fluxo de informações, criando a necessidade de manter uma constante interação e retroalimentação. No contexto da empresa estendida, os esforços para superar a resistência ao trabalho simultâneo levaram ao surgimento da engenharia colaborativa (SILLER et al., 2009).

Ainda, é de suma importância compreender a real diferença entre cadeia de fornecimento (*supply chain*) e rede de fornecimento (*supply net*). Michael Grieves (2011) em sua obra ‘Virtually Perfect - Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management’ deixa claro que a discussão nas empresas de manufatura sobre produzir produtos tem ignorado os fornecedores (*suppliers*). Na maioria dos casos a visão é de uma simples organização que se relaciona com seus fornecedores. Entretanto, a realidade é que a maioria dos produtos, especialmente produtos complexos, está no resultado das atividades de um grande número de organizações (no conceito de empresa estendida). Destaca que, do ponto de vista informação do produto, há mais pessoas envolvidas do lado de fora da organização do que na própria organização. É o caso das indústrias aeroespacial e automotiva. Um exemplo está na fabricação de autoveículos; sabe-se que em média a maioria dos OEMs (*Original Equipment Manufacturer*) da indústria automotiva é responsável pela fabricação de 30% de seus componentes (estamparia, armação e pintura), os outros 70% das peças e sistemas vêm do fornecimento dos *Tiers-1* (fornecedores do nível um) para que se possa prosseguir com a montagem do produto final.

Grieves (2011) sugere, além do termo *supply chain*, usar o termo *supply net*. Redes são diferentes de cadeias porque são interconectadas e não sequenciais (Figura 3.2). Além do mais, expressa de uma forma mais clara a adoção de meios virtuais para o tratamento de dados, informações e conhecimento relativos ao produto e fabricação. Apenas para comparar, no final da quarta parte do século 20 os ciclos de projeto e produção das empresas de manufatura mudaram drasticamente. Até então a preocupação era, dentro de uma filosofia *just-in-time*, produzir com *clusters* de empresas geograficamente alocadas para reduzir o tempo físico, relevar aspectos de logística e transporte. No final do século 20, início do século 21, os direcionadores (*drivers*) emergiram para novas necessidades no modelo cliente-fornecedor, entre os quais Grieves (2006) destaca os tempos de ciclo e a globalização. As constantes reuniões da cadeia para detalhar planos de produtos e processos, que por vezes causa a espera de dias, foram substituídas por um modelo colaborativo em rede que releva a informação como vantagem competitiva e alinha os fluxos de trabalho em atividades coordenadas de clientes e fornecedores - o PLM, reduzindo o tempo para instantes. Como ideia, a proposta é estabelecer uma estreita relação entre a empresa estendida e a empresa virtual com dois tipos de produtos: um físico (*chain*) e o outro virtual (*net*).

Figura 3.2 – Visão diferenciada de *Supply Chain* e *Supply Net*. Fonte: Grieves (2011) - *Virtually Perfect – Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management*.

Um exemplo de aplicação suportado pelo modelo PLM2M está no módulo SRM (*Supplier Relationship Management*) do Teamcenter, que permite estabelecer redes de fornecimento (*supply net*) com o propósito de gerenciar a integração (colaboração) entre OEMs e Tiers (*Supplier/Partner*) no conceito de desenvolvimento distribuído do produto, ainda no ambiente virtual. Este módulo do Teamcenter, dentro do framework PLM2M, possibilita projetar e validar produtos, trocar e sincronizar informações, integrar processos, suportar decisões, tudo digitalmente - dentro de diferentes cenários e regras de processos de negócios (Figura 3.3) - com equipes distribuídas. Pode-se ainda estabelecer níveis de colaboração entre OEMs, fornecedores e parceiros de acordo com o nível de engajamento no projeto de desenvolvimento do produto: altamente integrados (integradores de sistemas), integração moderada (conceito e projeto de sistemas), alta interação (projeto de subsistemas) ou baixa interação (peças padrões).

Supplier/Partner Integration Roles			Manufacture with Localization		Co-Design / Manufacture		Contract Designer		
<u>Partner:</u>									
<u>Supplier:</u>			Build to Print		Component Design		Systems Design & Manufacture		
			Systems Integrator						
Information Exchange									
Data Format		Native		PLM Context		Object Context			
Data Volume		Low		Med		High		Low	
Frequency		Low				High		Low	
Variants		Precise				Configurable			
Data Ownership		Sponsored				Supplier/Partner Owned			
Distributed Process Automation									
Shared Process		SOW		Shared Processes		Common Processes			
Client Strategy		Offline/Supplier Portal		4-Tier Thin		4-Tier Rich		2-Tier Rich	
Virtual Collaboration									
Decision Making		None		High Dependence					
Meeting Paradigm		Informal Virtual		Formal Virtual		Formal Onsite			
Solution View									
Web Portal (discrete files)		Web Portal (CAD Struct.)		Interactive PDM-PDM Sync		Automatic PDM-PDM Sync		Remote OEM PDM Client	
Virtual Meetings		Virtual Meetings		Remote PDM Client Or Web Portal		Remote PDM Client		Virtual Meeting Space	
Data Events		Data Events		Virtual Meeting Space Workflow		Virtual Meeting Space Workflow		Workflow	

Figura 3.3 – Exemplo de caracterização e definição de regras para integração de fornecedores e parceiros do módulo SRM (*Supplier Relationship Management*) do Teamcenter . Fonte: Supplier Integration Solution Overview Presentation V12 – Siemens PLM Software (2011).

3.3 AMBIENTES COLABORATIVOS DE MANUFATURA

O processo tradicional de desenvolvimento de produtos é caracterizado pelo fato de que cada etapa é executada em série resultando em longos períodos. A manufatura tradicional, ao contrário, incorporou o conceito de engenharia simultânea, onde cada departamento se esforça para acelerar o tempo de desenvolvimento. A proposta é fazer com que todas as etapas envolvidas com o projeto e manufatura iniciem mais cedo de forma simultânea acelerando o início da produção. Algumas características da engenharia simultânea devem ser destacadas: além da redução do tempo de desenvolvimento, essa abordagem permite a troca singular de informações entre os vários departamentos de desenvolvimento e manufatura, reduz o número de fases de protótipo e combina tecnologias CAE (*Computer Aided Engineering*), CAD (*Computer Aided Design*) e CAM (*Computer Aided Manufacturing*) nos processos de desenvolvimento - (MENNE e RECHS, 2002).

Embora pareça fantástica, existem problemas muito sérios em sua adoção: a engenharia simultânea não induz os departamentos envolvidos a considerar todos os estágios do ciclo de vida do produto, não trabalha no modelo de empresa estendida e não consegue considerar todos os aspectos de solicitação de demanda (SILLER et al., 2009). Além do mais a manufatura clássica e a engenharia simultânea inevitavelmente criam ilhas de conhecimento e silos de dados e informações, um problema encontrado na maioria das empresas de manufatura. Outro problema está na adoção de um fluxo de trabalho não controlado que, por muitas vezes, faz uso de sistemas de informação não apropriados gerando muita morosidade nos processos e muito retrabalho. A maioria desses problemas pode ser corrigida com o uso adequado da engenharia colaborativa em ambientes PLM. Um exemplo desse fluxo de trabalho não controlado e consequentes silos de dados está no uso frequente de aplicações ERP (*supply chain*) no lugar de aplicações PLM (*supply net*), principalmente no estágio virtual de desenvolvimento de produtos e planejamento de processos.

A engenharia colaborativa é uma abordagem sistemática que sucede a engenharia simultânea (ou concorrente); faz uso da empresa estendida e considera o uso da tecnologia da informação e comunicação TIC na implementação de ambientes colaborativos para o desenvolvimento conjunto de atividades críticas como projeto do produto, planejamento de processos e manufatura.

Siller et. al. (2009) ainda afirmam que o planejamento de processos tem sido um relevante tópico de pesquisa pelo menos nos últimos vinte anos. Um número considerável de artigos tem sido publicado e avanços importantes têm sido conseguidos, especialmente no desenvolvimento de sistemas CAPP (*Computer Aided Process Planning*). Esses sistemas proporcionam certo nível em tomadas de decisão e preparação de folhas de instruções para a manufatura discreta. Ainda, incluem mecanismos de raciocínio, bases de conhecimento e de dados que ajudam os planejadores de processos a desempenhar vários procedimentos, desde o reconhecimento de características geométricas de peças até a geração de programas de controle numérico. Porém, na prática, os sistemas CAPP caem na dependência de trabalhos sequenciais e repetitivos e conduzem a um significativo aumento no tempo do ciclo de desenvolvimento do produto e tudo associado a custos (Figura 3.4). No processo convencional a situação se agrava, Horta e Rozenfeld (1999) declaram que há anos atrás o planejador documentava o plano de processo de forma manuscrita e, em alguns casos, inseria em sistemas de PCP (Planejamento e Controle da Produção). Para se ter uma ideia da situação, essa forma de planejar o processo de fabricação apresenta a mais baixa taxa de produtividade no assunto - 92% do tempo é atribuído a funções que não agregam valor e 8% do tempo é utilizado em funções de concepção e análise.

Figura 3.4 - Estágios de projeto do produto, desenvolvimento, manufatura e ferramentas associadas.

Fonte: Siller et. al. (2009).

No âmbito das atividades de planejamento de processos, certamente a manufatura digital do PLM supre as lacunas que o CAPP não consegue oferecer para os ambientes colaborativos no modelo de empresa estendida. Embora exista um larga aplicação do CAPP no mercado mundial, Siller et al. (2009) destacam três problemas básicos que essa tecnologia não atende: (1) recursos dispersos: empresas envolvidas com diferentes plantas, diferentes infraestruturas de TI, diferentes dados, regras e métodos; (2) habilidade do profissional: muitas vezes profissionais de desenvolvimento de produto com visão limitada para a engenharia de manufatura e com o apoio de ferramentas CAD avançadas projetam peças com formas complexas para a produção que, de forma direta, impactam no tempo do ciclo de desenvolvimento; (3) planejamento adaptativo de processos: o planejamento de processos dever ser adaptativo e não reativo, em outras palavras, durante o ciclo de planejamento existem trocas dinâmicas que afetam as tomadas de decisão em todos os estágios do planejamento de processos – decisões essas solicitadas principalmente por sucessivas modificações, provenientes do sequenciamento e exigências de produção no chão de fábrica. Ainda, no contexto do planejamento adaptativo, um problema de planejamento de processos pode ter várias alternativas como solução, principalmente em função da disponibilidade das máquinas e ferramentas - como exemplo de solução, aqui se pode fazer uso da manufatura digital com a aplicação de cenários de simulação.

Existem muitas pesquisas com foco em manufatura digital colaborativa e distribuída e que inclusive levam a absorver a tecnologia de software baseada em agente. Mahesh et al. (2006) citam que um agente é um programa de software que desempenha, de forma específica, tarefas e características no sentido de interagir com o usuário ou grupos de usuários que se relacionam afim de atribuir inteligência e monitorar circunstâncias para determinadas condições. A exemplo, Mahesh et al. (2006) propõem um *framework* genérico para a manufatura colaborativa distribuída composto de agentes autônomos que interagem, compartilham recursos e redistribuem tarefas entre si, além de destacar regras nos estágios do ciclo de vida do produto (PLM). Trata-se de uma proposta que facilita o desenvolvimento colaborativo - do produto e produção entre agentes funcionais distribuídos geograficamente - e usa a informação no modelo de manufatura digital. Martinez-Lastra et al. (2009) reforça que métodos de engenharia tradicionais e sequenciais - apropriados para sistemas de produção monolíticos - são inapropriados no contexto dessa nova abordagem distribuída baseada em unidade/agente/ator (*distributed unit/agent/actor-based*). Contestam que são necessárias novas tecnologias capazes de suportar, de forma inerente, ambientes de engenharia

multidisciplinares. Martinez-Lastra et al. (2009) estendem a pesquisa para o controle da manufatura baseado em agente, que inclui aspectos de mecatrônica no âmbito do planejamento e projeto colaborativo para a manufatura digital. Um exemplo de conscientização de agentes (*softwares*) está no marco ‘Indústria 4.0’ (da indústria Alemã) que associa inteligência às máquinas e aos dispositivos de chão de fábrica e destaca, entre outros, o uso dos termos *cloud* e IoT (*Internet of Things*) associados ao PLM (fonte: artigo Accenture’s Digital PLM Services Recognized for Client Product and Service Innovation by CIMdata <http://uk.reuters.com/article/2014/11/11/> acesso em 12/dez/2914).

3.4 EXIGÊNCIAS PARA TROCA E COMPARTILHAMENTO DE DADOS, INFORMAÇÕES E CONHECIMENTO

A abrangência dos ambientes colaborativos de manufatura leva a uma visão mais ampla para a gestão de dados e documentos do produto e de processos que valorizam a informação e o conhecimento. Em linhas gerais, existem muitas pesquisas e trabalhos realizados; seguindo na direção de Siller et al. (2009), as funcionalidades de armazenagem devem apresentar controle e segurança para documentos de dados e respectivos atributos (*metadatas*), que destacam formatos proprietários ou padronizados de dados como STEP (*STandard for the Exchange of Product* - reconhecido pela ISO 10303), IGES (*Initial Graphic Exchange Specification*) ou, até mesmo, o padrão popular DXF (*Drawing eXchange Format*) muito usado pelos usuários de AutoCAD, o padrão JT da Siemens PLM, STL (*STereoLithography*) criado pela 3D System para prototipagem rápida, entre tantos outros encontrados.

Siller et al. (2009) citam Van den Hamer e Lepoeter (1996) que classificam o gerenciamento de dados do produto em cinco dimensões ortogonais, aplicadas até os dias de hoje: versões, vistas, hierarquias, status e variantes. Cada dimensão atua com regras importantes na estrutura de dados do produto a exemplo de cumprir a natureza interativa do projeto do produto, a representação de diferentes níveis e detalhes, a divisão em montagens (*assemblies*), submontagens (*sub-assemblies*) e peças. Com o gerenciamento da estrutura de dados é possível criar, gerenciar e manter listas de materiais, configurações de montagens e

do produto. Em linhas gerais, o usuário pode navegar na estrutura do produto, visualizar peças e submontagens, criar configurações usuais, e estender estruturas básicas de produtos para formar opções, versões e revisões. Ainda, os sistemas de gerenciamento da estrutura de dados do produto devem ser providos de visualização gráfica, ferramentas de classificação de famílias de peças, ter a possibilidade de anexar (*attach*) documentos de especificações e manufatura, e também criar e manter autorizações de estruturas de produtos para suportar um fluxo de trabalho consistente entre os participantes do ambiente colaborativo.

O cenário parece ser simples, porém na prática não é tão simples assim. Existem inúmeros problemas na comunicação e interoperabilidade de dados e informações de produtos e processos que, de forma inconsistente, prolongam os ciclos de projeto e produção, além de não recuperar os investimentos em conhecimento que, por vezes, são totalmente não gerenciados. Tais situações levam a tratar inclusive a cadeia de valor no sentido de relevar as atividades da empresa estendida e respectivos dados envolvidos. Bosch-Mauchand et al. (2012) estendem a gestão de dados do produto para uma abordagem mais ampla, que vai além de um simples gerenciamento de dados e informações para ambientes heterogêneos. Na gestão da informação chamam a atenção para o desempenho de processos de manufatura (o que eles denominam de processos de engenharia de produção) e, com base em uma abordagem mais ampla de avaliação (*assessment*), que de um lado considera o gerenciamento do conhecimento KM (*Knowledge Management*) e do outro os princípios da cadeia de valor, integram o gerenciamento do ciclo de vida do produto (PLM) aos cenários de simulação da cadeia de valor em questão. De um modo objetivo, o conhecimento capitalizado é usado como *input* (entrada) nos algoritmos de simulação para o *assessment* (avaliação) e interpretação de diferentes alternativas na cadeia de valor de acordo com critérios de desempenho. Eles usam as ferramentas de processos de hierarquia analítica AHP (*Analytical Hierarchy Process*) com base em árvores de julgamento de valores da abordagem MCDA (*Multicriteria Decision Analysis*), que impõem os pesos (de julgamento) dos investidores (*shareholders*), clientes, *staff* de manufatura e *staff* de projeto do produto. Isso dá uma ideia de onde se pode chegar.

Na proposta de Bosch-Mauchand et al. (2012) o maior desafio está no envolvimento de diferentes categorias de conhecimento que incluem características de produtos e processos, diferentes pontos de vista, os vínculos (*links*) entre propriedades de produtos e processos e, ainda, indicadores e pesos de desempenho. Afirmam que existe a necessidade de um sistema de informação e comunicação (TIC) mais amplo para envolver a

modelagem do conhecimento que facilite a colaboração em todo o ciclo de vida do produto (Figura 3.5). Estão dando alusão para a organização virtual estendida, rede de fornecedores (*supply net*) e para a abordagem PLM de uma forma específica. Ainda relevam que o PLM, por se apoiar na conexão de múltiplos sistemas distribuídos, oferecem vantagens significativas para suportar o estágio de captação do conhecimento (*input*) de produtos e processos provenientes de numerosas aplicações. O PLM permite gerar, organizar, compartilhar e reusar o que é relevante do conhecimento de acordo com os objetivos de cada projeto.

Figura 3.5 – Integração dos sistemas de informação para modelagem do conhecimento nos ambientes de manufatura que incluem PLM, MPM e ERP. Fonte: Knowledge-based assessment of manufacturing process performance: integration of product lifecycle management and value-chain simulation approaches - Bosch-Mauchand et al. (2012).

No exposto, as pesquisas de Siller et al. (2009), Bosch-Mauchand et al. (2012), Folan et. al. (2006), Lillehagen e Karlsen (2010), López-Ortega e Cruz (2010), Yan Lu et al. (2012) e muitas outras, indicam que as funções de troca e compartilhamento de dados, no

contexto da interoperabilidade em ambientes heterogêneos, devem suportar um repositório comum para ambientes dedicados (*private workspace*). Para ilustrar, Siller et al. (2009) conduzem e exemplificam suas pesquisas da seguinte forma: a função de compartilhamento de dados deve permitir extrair documentos do repositório comum de um software de gerenciamento e colaboração de dados ‘*vault*’ (expressão usual em TI); uma vez as tarefas ou modificações completas, os documentos devem ser atualizados para que tais modificações (*changes*) fiquem disponíveis e visíveis para todos os usuários. Complementam que esta função é essencial quando a colaboração é realizada em ambientes heterogêneos, onde diferentes aplicações geram diferentes formatos de arquivos (STEP, IGES, STL etc.) e necessitam ser representadas por modelos CAD e informações do produto. Ainda comentam que outros padrões estão disponíveis, além dos formatos já citados e consolidados. Mencionam que o uso do formato baseado em XML (*eXtensible Markup Language*) se tornou popular para troca de dados eletrônicos e se estendeu a outros formatos como ebXML (*electronic business using eXtensible Markup Language*) que mantém especificações modulares para suportar o comércio eletrônico, EDIFACT (*Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transport*) projetado para leitura eletrônica, STEPml (*STEP markup language*), PDML (*Product Data Markup Language*) e assim por diante.

No âmbito de compartilhar informações para processos de manufatura, Siller et al. (2009) citam a necessidade do uso de linguagens como PSL (*Process Specification Language*) e KIF (*Knowledge Interchange Format*) e ainda complementam que é importante padronizar a terminologia usada nos processos de manufatura no sentido de, inclusive, usar ontologias adequadas que expressam o universo de termos, entidades, objetos e o relacionamento entre eles para um cenário prático e real. Nesse propósito citam padrões como OWL (*Ontology Web Language*), RDF (*Resource Description Framework*) e DAML (*DARPA Agent Markup Language*) (SUBRAHMANYAN et al., 2005).

Para completar, Siller et al. (2009) citam que outros aspectos no universo de padrões de interoperabilidade de dados de produto entre os participantes distribuídos estão nos serviços de notificação e na visualização (*viewers*). Deve existir uma infraestrutura de tecnologia apropriada para planejamento de processos colaborativos que considera os serviços de notificação e mensagens, assim como funcionalidades de visualização de dados e documentos. Exemplificam com os padrões de representações de modelos 3D como VRML, U3D (*Universal 3D*), X3D, 3DIF, DWF da Autodesk para revisões de projeto e o padrão JT, a

plataforma aberta de visualização, colaboração e compartilhamento de dados desenvolvida pela Unigraphics e mantida pela Siemens PLM, para sustentar todo o ciclo de vida do produto inclusive na manufatura.

3.4.1 XML – A Base do Compartilhamento de Dados e Informações para o Modelo PLM2M

A Siemens PLM Software disponibiliza uma série de componentes (produtos auxiliares) para compartilhar dados e informações conforme segue: Parasolid, D-Cubed, Geolus, JT Open, Kineo, PLM Vis, PLM XML e Rulestream Engineer-to-Order (Figura 3.6). Reforçando a iniciativa de usar o Teamcenter e o Tecnomatix como as principais ferramentas de software para o modelo de referência PLM2M, é essencial entender quais os componentes que a Siemens PLM oferece e quais os classificados para o modelo de referência.

Figura 3.6 - Componentes Siemens PLM Software. Fonte:

http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/open/index.shtml (acesso 30/12/2013).

Aqui a proposta é, no conceito de empresa estendida e foco no modelo de referência PLM2M, tornar possível o compartilhamento de dados e informações e entrega de mensagens na empresa como um todo, entre diferentes fabricantes, seus parceiros e fornecedores. É fato que as indústrias de manufatura estão demandando níveis sem precedentes de interoperabilidade entre as aplicações de software PLM para acelerar seus

processos de negócios e, com isso, fazer economia de custos e importante redução no ‘*time to market*’ (SIEMENS, 2011). Com base nas percepções de mercado, muito em função do avanço da Internet, percebe-se que o protocolo aberto PLM XML, estruturado pela Siemens PLM Software, disponibiliza um conjunto de esquemas que facilita o compartilhamento de dados no ciclo de vida do produto. Vai de encontro com os objetivos do modelo de referência PLM2M no tratamento de dados e informações. O PLM XML é uma adequação da Siemens PLM com base na popular codificação de mercado XML – *eXtensible Markup Language*. O XML nasceu por volta de 1998 (ROY e RAMANUJAN, 2001) e é recomendado desde 1999 pelo consórcio W3C (*World Wide Web Consortium*), responsável por vários padrões da WEB (SEIXAS FILHO, 2006). Tudo funciona de forma simples como se fosse uma receita (procedimento) para uma determinada ação que considera um algoritmo de programação e estruturas de dados - Figura 3.7.

```
<xsd:complexType name = "EquipmentPropertyType">
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name = "ID"
      type = "IDType" />
    <xsd:element name = "Description"
      type = "DescriptionType"
      minOccurs = "0" maxOccurs = "unbounded" />
    <xsd:element name = "Value"
      type = "ValueType"
      minOccurs = "0" maxOccurs = "unbounded" />
    <xsd:element name = "EquipmentCapabilityTestSpecificationID"
      type = "EquipmentCapabilityTestSpecificationIDType"
      minOccurs = "0" maxOccurs = "unbounded" />
    <xsd:element name = "TestResult"
      type = "TestResultType"
      minOccurs = "0" maxOccurs = "unbounded" />
    <!-- added for v0300 -->
    <xsd:group ref = "Extended:EquipmentProperty"
      minOccurs="0" maxOccurs="1" />
    <xsd:element name = "Any" type="AnyType"
      minOccurs = "0" maxOccurs = "unbounded" />
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
```

Figura 3.7 – Esquema .xsd para a Propriedade de Equipamento B2MML -

Fonte: Revista InTech Edição 79 (2006).

Como ideia da popularidade do XML, em uma pesquisa realizada na base de dados ProQuest - Abstracts in New Technology & Engineering, foram encontrados mais de 7,1 milhões de resultados com artigos incidindo - na maioria - em publicações governamentais e oficiais (6 milhões) e em segundo lugar em periódicos acadêmicos (1 milhão). As aplicações XML são inúmeras e, em um exemplo inusitado para simplesmente indicar a abrangência do XML, Zhou et al. (2009) apresentam um artigo que relaciona o PLM com o uso de substâncias perigosas RoHS (*Restriction of Hazardous Substances Directive*) em estrutura de dados. O artigo apresenta um *framework* que integra arquivos XML de listas de materiais, a partir de sistemas PLM heterogêneos, com sistemas de gestão de conformidades (*compliance*) RoHS, permitindo flexibilidade e reuso da estrutura de dados necessários para ambientes complexos e distribuídos.

Gordon, L. (2007), na mesma base de dados, publicou um artigo no periódico 'Advanced Manufacturing' intitulado 'XML for the Digital Manufacturing' onde retrata um cenário que considera o XML como uma linguagem de programação própria para fomentar uma manufatura mais avançada. No artigo Gordon deixa claro que o XML é uma linguagem aberta onde qualquer pessoa pode editar seu conteúdo ao contrário de interfaces proprietárias de preço elevado e características técnicas difíceis. Proporciona a facilidade de manter e rastrear dados de produto em bases de dados relacionais, que podem conter uma grande quantidade de tabelas com os registros de cada peça. Os registros podem incluir campos importantes com dados de projeto e manufatura tais como ID (identificação), departamento, nome da peça, título CAD, tipo de material, tamanho, etc. Comenta ainda que as tabelas de dados também podem ser atribuídas a uma linguagem do tipo HTML (*HyperText Markup Language*), própria para navegadores (*browsers*) WEB. O problema é que a linguagem HTML proporciona simplesmente a visualização dos dados e não uma efetiva conexão entre os campos da estrutura da base de dados como na linguagem XML. O XML oferece uma forma bem definida para automatizar a transferência de listas de materiais (BOMs – *Bill of Materials*), instruções de montagem (*assembly*), especificações de engenharia, informações de manufatura e assim por diante, tudo dentro de um fluxo de dados consistente.

Ainda no artigo, Gordon, L. (2007) chama a atenção para não confundir arquivos CAD com a linguagem de entrega de mensagens XML. São duas situações independentes. Deixa claro que é muito importante entender como um arquivo de dados CAD deve ser manipulado em um '*pipeline*' XML do produto digital; o termo '*pipeline*' deve ser

entendido como um conjunto de serviços. No artigo de Gordon, Peter Velinkin, na época diretor de marketing de produtos para a PTC, afirmou que arquivos CAD processam informações de engenharia e são altamente comprimidos enquanto que o XML foi programado para um ambiente descritivo de troca de textos (mensagens). Complementa que a estrutura de dados CAD pode ser quebrada dentro do XML. Destaca que arquivos CAD são binários e, a exemplo do Pro/Engineer (atual CREO), os softwares de CAD devem estar preparados para tal interface - um bom exemplo de uso do XML está na troca de arquivos CAD completos. Velinkin acredita fortemente que o XML é uma importante forma de automatizar as informações de projeto entre os usuários, isso porque arquivos CAD de forma independente não são suficientes para representar todas as intenções de projeto. Ainda cita, como importância do XML, os investimentos da PTC no produto Arbortext - uma ferramenta dinâmica de publicação que permite associar documentos de produto (textos, ilustrações e animações), base de dados, informações de sistemas contendo registros de produtos, peças e montagens, tudo conectado com arquivos CAD para, através da garantia de importação e exportação de dados que o XML oferece, assegurar que os documentos sejam configurados e publicados automaticamente no formato e linguagem correta (HTML, PDF, *wireless*, CD, vídeos, papel etc.).

Peter Velinkin (2007) coloca um inconveniente, diz que as informações corretas de projeto, manufatura, operações e serviços não consideram o nível de experiência das pessoas. Quando o ambiente é manufatura recomenda, em comum acordo com Siller et al. (2009), a iniciativa STEPml, uma coleção de especificações XML baseadas em esquemas de dados de produto, uma vez que o STEP é um padrão amplamente reconhecido. Chama a atenção para os esquemas XML STEP porque controlam processos de engenharia, análises e o gerenciamento da cadeia de fornecimento. A vantagem de usar esquemas XML (STEPml) sobre os padrões STEP ou IGES é a eficiente troca de dados via Web.

A Siemens PLM Software no ‘*pipeline*’ do PLM XML destaca, entre vários, dois padrões de serviços: o formato de dados XT do Parasolid e o formato de dados JT, muito utilizado nos mercados automotivo e aeroespacial e adequado a todas as empresas de manufatura (Figura 3.8) - com vantagens de rica interoperabilidade e conexão entre as aplicações da própria Siemens PLM e também aplicações heterogêneas de terceiros, um benefício significativo para o modelo de referência PLM2M.

Figura 3.8 - Pipeline PLM XML da Siemens PLM Software que inclui os padrões XT e JT. Fonte: http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/open/plmxml/index.shtml (acesso 03/01/2014).

O Parasolid é considerado um componente de software de modelagem 3D - padrão de mercado para peças industriais mais complexas - usado como base (*foundation*) para os softwares Solid Edge e NX da Siemens PLM, e licenciado para muitos outros fabricantes de software denominados ISVs (*Independent Software Vendors*), e com centenas de aplicações para projeto, análise e fabricação de produtos (CAD/CAE/CAM). Um importante elemento dessa visão Siemens é o Parasolid XT Pipeline, o formato aberto de arquivo nativo do Parasolid para edição, possível de ser acessado de qualquer aplicação compatível. A Siemens PLM (2013) destaca que, embora a translação de dados entre diferentes formatos possa resultar em perda de integridade geométrica e outras imprecisões, trocar dados XT entre aplicações baseadas em Parasolid garante 100% de confiança. Ainda afirma que o Parasolid é o mais confiável receptor (*recipient*) de dados de outros formatos; possui uma tecnologia denominada ‘*Tolerant Modeling*’ (Modelagem Tolerante), que está intrínseca em todas as operações, reconhecendo e compensando as anomalias de dados.

O Parasolid inclui uma variedade de ferramentas (Tabela 3.1), especialmente para suportar sofisticadas aplicações PLM de geometria como modelagem *wireframe* (arame) 3D, de superfícies e de sólidos, de forma separada ou combinada (*blending*). O modelo de referência PLM2M, por adotar o *pipeline* PLM XML da Siemens PLM, inclui a troca de dados geométricos, entre outros, no formato de arquivo Parasolid XT, por se tratar de um padrão da indústria. Ainda, dentro do escopo da representação geométrica, suporta a maioria dos componentes oferecidos pela Siemens PLM, e destaca o D-Cubed, o Geolus Search e o PLM Vis como ferramentas auxiliares.

Tabela 3.1 - Ferramentas auxiliares Parasolid

Produto	Características
D-Cubed	<p>Uma biblioteca de seis aplicações de software que incluem capacidades como solver (software matemático) para restrições de geometria, <i>sketching</i> (esboço) paramétrico, projeto de peças e montagens, simulação de movimento, detecção de colisão, compensação de dimensões, e visualização de linhas escondidas (<i>hidden</i>). O D-Cubed também pode ser licenciado para desenvolvedores para ser integrado em seus produtos.</p>
Geolus Search	<p>Um mecanismo de pesquisa geométrica 3D – com base em contornos (<i>outline</i>) preliminares e metadados - para desenvolvimento de aplicações multiCAD e PLM, controle e reuso de componentes similares. Tem o propósito de reutilizar o conhecimento na forma de informações e componentes, evitar duplicação de peças e ferramental, proporcionar economia de tempo de projeto e, em especial, colaborar nas atividades de estimativas, comparação e redução de custos, histórico de cotações para compras, avaliação para processos de fabricação e comprometimento de estoques. Seu mecanismo de pesquisa é rápido e funciona como o ‘Google’ e, a partir de palavras chave, pode-se consultar desde sistemas locais PDM - <i>Product Data Management</i>, arquivos digitais de catálogos, bases de dados de projetos e desenhos 3D, entre outras fontes. Em questão de segundos o Geolus recupera milhares de desenhos 3D similares para serem comparados, avaliados e usados nos projetos como referência. O Geolus possui uma interface SOA - <i>Service Oriented Architecture</i> - programável que permite que o</p>

	<p>mecanismo de busca possa ser incorporado a outras aplicações como NX, Teamcenter, <i>Rich Client Platform</i> (conjunto mínimo de funções - <i>plug-ins</i> - necessário para construir uma aplicação) e também em aplicações aClass (classificação tecnológica para parceiros Siemens). O Geolus trabalha com formatos de arquivos neutros do tipo JT, VRML e STL.</p>
PLM Vis	<p>Um componente que oferece ferramentas de visualização 2D/3D e <i>markup</i> (anotações) facilmente integradas às aplicações PLM. O PLM Vis complementa o software de visualização do Teamcenter e oferece capacidades como controles ActiveX (ou .NET) e aplicativos Java para Internet com o propósito de reforçar a colaboração no conceito de empresa estendida. O componente PLM Vis suporta a maioria dos formatos 2D e os formatos VRML, STL, JT (3D), dos softwares NX e Solid Edge e dados Parasolid XT, tudo em um único ambiente e, ainda, pode ser aplicado no ‘<i>pipeline</i>’ PLM XML.</p>

Fonte: Siemens PLM Software.

Seguindo na linha de raciocínio do ‘*pipeline*’ para o conjunto de serviços de interoperabilidade em ambientes de colaboração e integração do modelo PLM2M, embora não seja o único, a pesquisa adotou, muito em função da exigência de variedade de dados de produtos e domínios de aplicações multidisciplinares que o Teamcenter e o Tecnomatix proporcionam, o componente PLM XML da Siemens PLM, por oferecer um mecanismo leve e flexível para transportar grandes quantidades de dados via Internet. A vantagem está na extensa biblioteca de esquemas PLM XML (Figura 3.9) que se encaixa a fluxos de trabalho e pode ser disponibilizada através de links no website da própria Siemens PLM (http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/open/plmxml/schemas.shtml). Cada conjunto de arquivos de esquemas PLM XML é acompanhado de um arquivo de documentação para

download. Para gerar o arquivo de documentação a Siemens PLM recomenda usar o programa XML Spy da empresa Altova (<http://www.altova.com/>).

Figura 3.9 - Conjunto de esquemas PLM XML Versão 7.0.3 para download. Fonte: http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/open/plmxml/schemas.shtml (acesso 15/01/2014).

O PLM XML é considerado um protocolo de transporte (e entrega de mensagens) para troca de dados de produto em seu ciclo de vida com base em tais esquemas. As definições dos esquemas incluem estruturas que permitem acessar desde metadados (dados alfanuméricos) até dados detalhados do modelo; os dados podem ser compartilhados por e-mail ou por *download*, e também no arranjo do fluxo de trabalho do Teamcenter, dependendo do grau de segurança que se deseja. O PLM XML permite interface para *firewall*, acesso de servidores Web e também através de Intranet. A Figura 3.10 traz um exemplo de um trecho de documento PLM XML.

```

<?xml version="1.0" standalone="no"?>
<PLMXML xmlns="http://www.plmxml.org/Schemas/PLMXMLSchema" schem
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
time="14:49:12" language="en" date="2001-12-19">
  <ProductDef id="id1" name="assembly" revision="1">
    <InstanceGraph id="id2" rootInstanceRef="id3">
      <Description>
        Product hierarchy for sample car, distributed over two fi
      </Description>
      <Instance id="id3" partRef="#id4"/>
      <Instance id="id6" partRef="#id7"/>
      <Instance id="id10" partRef="car_axle_assembly.plmxml#id11
      <Instance id="id24" partRef="car_axle_assembly.plmxml#id11
      <Part id="id4" type="assembly" instanceRefs="id6 id10 id24
      </Part>
      <Part id="id7" type="solid" representationRefs="id9">
      </Part>
      <Transform id="id23">1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1</Tran
      <Transform id="id25">1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 -1 0 1</Tra
    </InstanceGraph>
    <Representation id="id9" name="car_id7" format="XT" revision
      <Description>
        Chassis of Car assembly
      </Description>
    </Representation>
    <ProductView id="id26" primaryOccurrenceRef="id2

```

Figura 3.10 - Trecho de documento PLM XML. Fonte: Artigo ‘Open product lifecycle data sharing using XML’ - Siemens PLM Software, 2011.

O *framework* de referência PLM2M, no contexto, aproveita a ideia da Siemens PLM para os esquemas PLM XML que definem modelos de dados padronizados para aplicações PLM e envolvem desde dados de produtos, processos de desenvolvimento até processos de planejamento de manufatura e produção, na forma de estruturas de árvores hierárquicas (Figura 3.11).

Figura 3.11 - Trecho de um esquema PLM XML e árvore de hierarquia. Fonte: Artigo ‘Open product lifecycle data sharing using XML’ - Siemens PLM Software, 2011.

De um modo geral a Siemens PLM define para o PLM XML três importantes características: (i) a possibilidade de baixar gratuitamente os esquemas para uso nas aplicações PLM Siemens e/ou outras comunidades; (ii) a garantia de uma estrutura de dados leve (*lightweight*), essencial para manter a interoperabilidade de informações entre processos PLM e representação de diversos sistemas CAD, dados Parasolid XT e outros; e (iii) a extensibilidade da natureza XML que permite transportar dados adicionais simplesmente com a publicação de esquemas. Esse conjunto de facilidades, associado ao *framework* do modelo de referência PLM2M, possibilita o compartilhamento de esquemas entre grupos heterogêneos dentro de cenários complexos e particulares de colaboração que inclui recursos dispersos. A Tabela 3.2 mostra várias rotinas de tipos de dados para os esquemas PLM XML, que incluem árvores hierárquicas.

Tabela 3.2 - Rotinas de tipos de dados para os esquemas PLM XML

Tipos de dados	Características da Rotina
Estrutura do produto	Essa rotina inclui dados de modelos CAD, árvore e histórico do produto, estrutura de montagem, expressões booleanas, aplicações de visualização e revisões, trocas de dados de listas de materiais BOM - <i>Bill of Materials</i> e dados de sistemas PDM – <i>Product Data Management</i> ;
Metadados	Inclui dados alfanuméricos associados à estrutura do produto; o formato base de associação de dados é o GDE (<i>General Design Element</i>) que, entre várias particularidades, engloba portabilidade, características de projeto como anotações, dimensões e tolerâncias;
Dados de representação geométrica	Inclui a representação de elementos genéricos para construções geométricas que suportam informações de pontos, curvas, curvas compostas, superfícies e sistemas de coordenadas. Indo além, esse elemento consegue interpretar o centro de gravidade de uma peça, assim como um conjunto de pontos para checar a fidelidade de um modelo;
Titularidade de dados	Facilita o controle de acesso para esquemas PLM XML e a titularidade de dados para aplicações individuais ou de equipes;
Propriedades de	Este elemento inclui propriedades de visualização para esquemas PLM XML tais como controle de vistas (direção,

visualização	janelas e vistas particulares) e controle de apresentação (<i>backgrounds</i>) e outros atributos;
Características (Features)	Aqui a principal função é incluir atributos para características de hierarquia e status, elementos de tipos e parâmetros, assim como associar características de origem, múltiplas representações e outras - tudo pode ser visualizado através de navegadores (<i>browsers</i>) em uma representação de árvores com base na modelagem de sistemas;
Aplicações associadas específicas	Um documento PLM XML para ser colaborado, criado por uma aplicação de envio de mensagem, não necessariamente necessita representar todos os dados de origem - essa aplicação tem a capacidade de associar somente os dados necessários diretamente no documento XML como nome, localização URI (<i>Uniform Resource Identifiers</i>) e outros atributos;
Troca dinâmica de dados (Delta)	Uma rotina que suporta a troca de dados de uma forma mais dinâmica e permite a correlação (delta) entre, por exemplo, duas estruturas de produto - oferece um mecanismo para gerenciar a troca de dados de listas de materiais (BOM) em cenários interoperáveis.

Fonte: Siemens PLM Software.

Uma das principais vantagens em compartilhar dados através de esquemas XML está na abrangência, característica do PLM XML em permitir derivações de novos elementos a partir de elementos existentes para um determinado fim (*ad-hoc*). Nesse sentido, para o modelo PLM2M com esquemas PLM XML, pode-se imaginar uma infinidade de

utilidades, a exemplo de incorporar extensões de esquemas para MRO (*Maintenance Repair Overhaul*), mecatrônica (*routing*), status de inventário, status de produto, propriedades de materiais etc.

3.4.2 PLM XML na Prática

Em linhas gerais a Siemens PLM (2011) subdivide as ações do PLM XML em três categorias - *pipeline*, *toolkits* (conjunto de ferramentas) e serviços (*services*) – que, de um modo prático, se combinam e exploram capacidades entre fontes e usuários de dados. Reforçando, o benefício primário em adotar esquemas PLM XML para o modelo de referência PLM2M está na habilidade de compartilhar grandes conteúdos de dados e permitir gerar aplicações multidisciplinares, dentro de um *framework* único - o ‘*pipeline*’ PLM XML. O ‘*pipeline*’ do XML pode ser estendido para todas as áreas do ciclo de vida do produto (engenharias, programas e portfólio, manufatura, logística etc.), permitindo colocar em ação os conceitos de engenharia colaborativa, empresa estendida e *supply net* – intenção principal do modelo PLM2M. Ainda, como vantagem primária, pode-se assegurar o patrimônio do conhecimento através de uma estrutura apropriada de TI (BOSCH-MAUCHAND et al. 2012) e, indo mais além na abrangência do modelo PLM2M, engajar o gerenciamento do ciclo de vida de produtos no gerenciamento de portfólio de programas e projetos.

A Figura 3.12 explora o ‘*pipeline*’ PLM XML da Siemens PLM Software e dá uma ideia das oportunidades de colaboração e interoperabilidade para o modelo de referência PLM2M. Percebe-se que existem inúmeros mecanismos de serviços de software, que incluem capacidades de leitura e gravação (*read/write*) na forma de kits de ferramentas PLM XML SDK (*Software Developer Kit*), os quais permitem que adaptadores (*adapters*), na condição de *run-time plug-in*, acessem fontes de dados de referência (*query*), para serem consumidos por processos ativados por eventos específicos (*handlers*). Em suma, para consumir tais dados na forma nativa os ‘*handlers*’ ainda oferecem ferramentas de software que interpretam tais dados e entregam para ambientes locais de coletas, ambientes de serviços web, aplicações específicas, ferramentas embarcadas, a exemplo do Parasolid, ou simples *plug-ins*.

Figura 3.12 - Visão completa dos serviços do 'pipeline' PLM XML.

Fonte: Artigo 'Open product lifecycle data sharing using XML' - Siemens PLM Software, 2011.

No final, fazendo uma analogia entre as pesquisas acadêmicas de Siller et al. (2009) e demais pesquisadores e as aplicações práticas (senso de mercado) recomendadas pela Siemens PLM Software (2011), PTC - Gordon, L. (2007), Velinkin (2007) e outros *players*, percebe-se uma mesma tendência de uso de padrões XML para compartilhamento de dados e informações em ambientes heterogêneos, o que endossa o uso de esquemas PLM XML para o modelo de referência PLM2M. A Siemens PLM (2011) afirma que os padrões baseados em XML para interoperabilidade e troca de dados estão se tornando demasiadamente importantes nos ambientes PLM. Esses padrões se estendem e se adaptam para vários domínios de colaboração e redes de fornecedores (*supply net*) que elegeram, entre tantos, formatos de conteúdo de dados ou '*payload*' (dados em tempo real) tal como o STEPml, e os padrões RosettaNet e ebXML para *e-business* (comércio eletrônico) e *frameworks* colaborativos para negócios.

3.5 PLM2M ASSESSMENT & REQUISITOS BÁSICOS PARA O GERENCIAMENTO DE FLUXOS DE TRABALHO (WfMS) E DE PROCESSOS DE NEGÓCIOS (BPM)

É fato que o PLM aumenta a eficiência de produtividade das empresas de manufatura, encurta os ciclos de projeto e produção e requer o envolvimento de diversas áreas funcionais - o foco está na redução de custos, melhoria de qualidade e menor tempo de colocação de produtos no mercado. No contexto, uma importante conotação para a adoção do modelo de referência PLM2M está nas práticas e processos de trabalho. Grieves (2006) destaca muito bem as mudanças que as organizações sofreram nos últimos 35 anos, indo ao encontro de exigências como escalabilidade, complexibilidade, tempos de ciclo, globalização e ambientes regulados para tratar com informações baseadas no produto. As empresas entenderam que as ferramentas da abordagem PLM para desenvolvimento de produtos e planejamento de processos de manufatura podem suprir as necessidades básicas para essa evolução no sentido de melhorar a produtividade, taxa de inovação, colaboração e quesitos de qualidade. Ainda, o mais importante, é que as empresas também descobriram que deve existir um direcionador (*driver*) na habilidade de criar valor para a organização. Nesse sentido o modelo PLM2M cumpre esses objetivos por incorporar ferramentas para o gerenciamento do fluxo de trabalho em um contexto mais amplo de modelagem de processos de negócios que envolve a organização como um todo e a rede de fornecimento (*supply chain/supply net*), tudo dentro de uma abrangência de governança de projetos, programas e portfólio e modelos de maturidade.

Aqui o modelo de referência PLM2M inclui, para as engenharias de produto e manufatura, a metodologia PLM2M Assessment focada em projetos de transformação e melhoria de negócios que incorporam ferramentas de gerenciamento de fluxos de trabalho WfMS (*Workflow Management System*) e ferramentas de gerenciamento de processos de negócios BPM (*Business Process Management*). A adoção da abordagem PLM, nas atividades de desenvolvimento de produtos e planejamento da manufatura, necessita de um planejamento de implementação bem estruturado e bem sucedido. A proposta de incorporar uma metodologia de '*assessment*' (avaliação) ao modelo de referência PLM2M é a de trazer uma visão '*de como está*' (*as-is*) - da situação atual da organização em que se quer

implementar o modelo - para uma visão ‘onde se quer chegar’ (*to-be*), dentro de critérios conscientes absolutamente confiáveis e comprovados - a Figura 3.13 traz um exemplo da investigação de processos, integração, aplicação e dados (BORDI et al., 2011).

Figura 3.13 - Framework conceitual PLM2M Assessment. Fonte: Bordi S. et al. 2011 (adaptado).

O propósito é entender como as organizações podem aprimorar a eficiência operacional através da otimização de processos sustentáveis e conectados, assim como trazer um total domínio sobre a abordagem PLM e sua amplitude. O PLM2M Assessment pode ser considerado como uma classe de serviços que incluem métodos e ferramentas de análise para identificar - de forma rápida - as melhorias e transformações essenciais para um melhor retorno de investimento (ROI). Ainda, é importante ressaltar a relação do ‘assessment’ com o mapeamento de valor oferecido na comparação do PLM com outras ferramentas de TI como ERP, CRM e também com a abordagem *Lean Manufacturing* (GRIEVES, 2006).

Grives (2006) caracteriza os três elementos básicos do PLM por tecnologia, processos e pessoas e comenta que não podemos confundir práticas com processos. É muito comum, em um primeiro instante, considerar o PLM como um elemento puramente de tecnologia da informação (TI). Além do mais, muitas empresas somam a esse elemento tecnológico do PLM práticas sem o menor esforço de considerá-las um processo eficiente. A recomendação é que, além de enxergar o PLM como uma aplicação de TI sejam considerados,

como primordiais para uma implementação bem sucedida de PLM, processos bem estruturados em fluxos de trabalho, assim como, principalmente, a capacidade de mudança das pessoas.

3.5.1 Relação PLM2M Assessment e as Recomendações de Michael Grieves

A opinião de Grives (2006) sobre PLM vem de encontro aos objetivos do modelo de referência PLM2M. O PLM pode ser considerado um dos maiores avanços - em termos de mudanças - nas organizações com estruturas funcionais tradicionais. Reforça que a abordagem PLM não pode ser implementada para situações '*as-is*' - como a empresa está. Existem assuntos como cultura, processos, práticas e políticas (*power*) os quais afetam o sucesso da implementação PLM nas organizações; para isso deve haver um '*assessment*' - uma avaliação sistemática e rigorosa no contexto do projeto de implementação. A proposta aqui é detalhar um procedimento de '*assessment*' - inicialmente na visão de Grives (2006) - com técnicas, metodologias e sugestões para que no final o *framework* PLM2M Assessment possa estar fundamentado.

O PLM2M Assessment tem uma visão multidisciplinar e deve ser executado em partes - de forma total ou parcial nas organizações (unidades de trabalho ou áreas funcionais) - para que no término do projeto de avaliação '*assessment*' possam ser identificados o atual estado da tecnologia, estado atual dos processos, gargalos de dados e informações, bases de conhecimento mal exploradas e fluxos de trabalhos (*workflows*) mal resolvidos. Embora a pesquisa se concentre nas atividades de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura, entende-se que essas atividades tem uma forte ligação com a organização como um todo e as atividades de '*assessment*' devem incluir outras áreas funcionais como as engenharias de produto, especificações, avançada, qualidade etc., chão de fábrica (gerenciamento da produção e automação) e também atividades de gestão comercial como ERP, PCP, S&OP e outras. Ainda, deve ser considerada para o '*assessment*' a rede de fornecedores (no conceito *supply net*); tudo para suprir as expectativas de encurtar os ciclos de projeto e produção, trazer maior produtividade e lucratividade para as empresas de manufatura.

Grives (2006) de uma forma objetiva determina que o ‘*assessment*’ deve considerar todos os elementos do PLM: tecnologia (que inclui infraestrutura de TI), práticas/processos e pessoas. Reforça que a proposta é criar um procedimento para comparar a situação atual ‘*as-is*’ com a situação aonde se quer chegar ‘*to-be*’. No contexto de processos estruturados em fluxos de trabalho, Siller et al. (2009) incluem o uso de sistemas WfMS (*Workflow Management Systems*) para a coordenação de tarefas inter-relacionadas para gerenciar processos de negócios BPM - *Business Process Management*. Jeston e Nelis (2008) reiteram que um projeto BPM não necessariamente deve envolver somente soluções de tecnologia e sim ater a atenção para soluções automatizadas de gerenciamento de processos.

Na obra de Jeston e Nelis (2008) vale destacar a citação de Smith e Fingar (2002) - eles acreditam que um sistema BPM é composto por três áreas de abordagem (Figura 3.14): (1) integração de sistemas internos - inclui aplicações corporativas EAI (*Enterprise Application Integration*); (2) automação de processos - diz respeito ao que Grieves (2006) denomina como práticas e processos e inclui regras de negócios e repositório de processos; (3) colaboração com entidades externas - inclui clientes, parceiros de negócios, canais de distribuição e ‘*hubs*’ (concentradores de redes) para troca de informações de negócios; vem de encontro ao trabalho de ‘*groupware*’ oferecido pelas ferramentas PLM para empresa estendida como indicado por Wang e Nee (2009). Faz sentido entender que esse conjunto de abordagens para BPM, quando aplicados ao modelo de referência PLM2M, facilitam a construção de fluxos de trabalho centrados em processos (*process-centric*) para os procedimentos de ‘*assessment*’. Ainda, ampliando a visão de ‘*assessment*’, Bosch-Mauchand et. al (2012) concentram a atenção na integração do gerenciamento do conhecimento e em um ‘*assessment*’ baseado na cadeia de valor capturado pelas ferramentas PLM e selecionados por métodos de análise de multicritérios.

Figura 3.14 – Sistema de Gerenciamento de Processos de Negócios.

Fonte: Jeston e Nelis (2008) (adaptado de Smith e Fingar, 2002).

Para reforçar os conceitos, Siller et al. (2009) descrevem que um processo de negócio, de acordo com a ASQ (*American Society for Quality*), é um grupo organizado de atividades relacionadas que trabalham juntas para transformar um ou mais tipos de ‘*inputs*’ (entradas) em ‘*outputs*’ (saídas) para gerar valor para a organização. Ainda comentam que o termo ‘*workflow*’ (fluxo de trabalho), de acordo com a WfMC (*Workflow Management Coalition*), pode ser considerado como a automação de um processo de negócio no sentido de incluir documentos, informações ou tarefas, a partir de um participante para outro, com o propósito de desempenhar algumas ações de acordo com um conjunto de regras de procedimentos. Quando um ‘*workflow*’ é executado no conceito de empresa estendida (inclui a organização e o *supply net*), pode-se denominá-lo como ‘*distributed workflow*’ (fluxo distribuído de trabalho), onde indivíduos de várias organizações participam para conseguir objetivos globais. O modelo de referência PLM2M, para as atividades de planejamento colaborativo de processos, suporta processos de negócios os quais podem ser gerenciados por fluxos distribuídos de trabalho.

No contexto, percebe-se que as recomendações de Grieves (2006) para a condução de um PLM Assessment favorece a mudança da estrutura organizacional da corporação de uma gestão funcional para uma gestão por processos na empresa estendida. Grieves (2006) tabula suas recomendações da seguinte forma: *assessment* para infraestrutura, *assessment* para sistemas e aplicações em uso, *assessment* para pessoas e *assessment* de práticas e processos. Ainda, o *framework* do modelo colaborativo de produtividade PLM2M

associa as orientações de Grieves (2006) às visões funcional (desempenho do ecossistema de TIC), lógica (sequência coerente, regular e necessária de processos e fluxos de trabalho) e de aplicação (utilização de softwares PLM – cPDm, CAE/CAD/CAM e Manufatura Digital).

3.5.1.1 PLM Assessment para infraestrutura

Aqui o foco está na avaliação da capacidade de máquinas (computadores) e de infraestrutura de TI. A infraestrutura de computação/comunicação deve estar ajustada às necessidades de aplicações atuais e futuras dos softwares PLM e respectivas estruturas de compartilhamento de dados. Os conceitos de utilização de hardware se alteram para aplicações em grupo, acesso às bases de dados comuns e novos métodos de visualização 2D/3D. Um exemplo está na alteração da cultura no piso da fábrica - do uso de desenhos em duas dimensões acompanhados de documentações para visualização em três dimensões na tela de computadores. Grieves (2006) destaca quatro itens para o ‘*assessment*’ de infraestrutura (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - PLM Assessment de infraestrutura

Item	Procedimentos
Adequação da tecnologia atual	Verificação dos componentes de hardware para capacidade de processamento local e em rede, ‘ <i>bandwidth</i> ’ (banda de transmissão da rede), capacidade de armazenamento, avaliação de servidores e base de dados, políticas de backup e segurança (replicação de servidores), avaliação de sistemas e softwares em uso;
Escalabilidade	Aqui a atenção está na verificação dos limites máximos de capacidade de processamento (principalmente quando se trata de modelos matemáticos), limites de armazenamento e largura

	da banda (<i>bandwidth</i>) - deve-se determinar o ponto em que o sistema fica saturado - para isso é importante o critério de escalabilidade (capacidade de crescimento do sistema);
Modularidade	Deve-se avaliar a possibilidade de alteração da arquitetura do sistema para aumento de capacidade de processamento e aumento de armazenagem de dados como um fator preponderante, principalmente de uma forma incremental - outro item de avaliação de modularidade está no ‘ <i>backbone</i> ’ (estrutura física central) de rede - intranet ou extranet;
Acessibilidade (<i>openness</i>)	Para a abordagem PLM a avaliação de acessibilidade é um fator de extrema importância - deve-se entender que não existe uma única solução capaz de desempenhar todas as funções de acessibilidade exigidas na implementação do PLM - a avaliação deve incluir arquiteturas abertas de hardware e software para cumprir as funções de interoperabilidade de formatos e modelos de dados para facilitar a troca de informações - ainda, outro ponto de avaliação da acessibilidade está em identificar o uso de soluções para converter e traduzir as informações em formatos comuns de dados para uso em diferentes programas – especificações XML e STEP são exemplos de formatos comuns para soluções de arquitetura aberta.

Fonte: Product Lifecycle Management – Driving the Next Generation of Lean Thinking - Michael Grieves (2006).

3.5.1.2 PLM Assessment para sistemas e aplicações em uso

Grieves (2006) cita a importância de fazer uma avaliação dos sistemas e aplicações formais em uso, assim como da responsabilidade de instalação, manutenção e suporte para tais sistemas. Também comenta que se deve analisar o mapa do fluxo de informações relativo a cada sistema e entre sistemas e entre as áreas funcionais. Essa análise traz à tona os sistemas informais (planilhas Excel ou documentos Word) residentes em servidores locais, que sustentam informações críticas (*part number*, estrutura de produtos, custos etc.) de tarefas ou subtarefas de apoio para os sistemas formais, transmitidas normalmente via e-mail. Aqui fica evidente a identificação de silos de conhecimento e a movimentação de informações (*ad hoc*) que se dá normalmente pela prática.

Grieves (2006) cita um exemplo muito comum da situação de um produto - e também identificado pela pesquisa na MWM International - quando o departamento de compras solicita informações adicionais de especificações para a engenharia de produtos, em relação ao fornecedor, e esses solicitam alternativas de listas de processos BofP - *Bill of Process* - para a engenharia de manufatura com o objetivo de aprovação da montagem e fabricação. Na MWM e em muitas empresas, o caminho de ida e volta das informações é feito de maneira informal. A proposta é que, com o novo sistema PLM, todo esse fluxo de informações seja automatizado, encurtando o ciclo de aprovação com os fornecedores (*suppliers*).

Em comum acordo com Grieves (2006), a pesquisa ainda chama a atenção para considerações importantes na avaliação dos sistemas e aplicações formais e informais: deve-se ter certeza que qualquer novo sistema esteja incorporado com o novo fluxo de informações PLM; e ter a oportunidade de avaliar o fluxo de informações em relação à prática obtida com o tempo (anos de experiência de trabalho) - que normalmente se apresenta como eficiente - e transformá-lo em um processo.

3.5.1.3 PLM Assessment para pessoas

Aqui Grieves (2006) considera as informações, conhecimento e experiência que as pessoas obtêm em relação ao desenvolvimento e manufatura de produtos e, em uma primeira oportunidade de avaliação, propõe determinar a quantidade de tempo perdido em tarefas não produtivas. Com base em estimativas, 60 a 80 por cento do tempo da equipe é desperdiçado em tarefas improdutivas como pesquisa, duplicação, retrabalho, trabalho de

cópia, distribuição e informações perdidas. Uma maneira de avaliar o desperdício de tempo de engenheiros e projetistas é através de metodologias que incluem pesquisas, entrevistas e observações. Vale lembrar que quando a pessoa está procurando informações ela está dentro de um processo - deve-se entender e avaliar o processo.

Outros aspectos que devem ser avaliados, no contexto de pessoas, dizem respeito à importância, habilidade, disposição, tempo e dispersão das pessoas envolvidas com o novo sistema PLM - deve-se levar em consideração o período de transição de aprendizagem do novo sistema PLM e prestar atenção nas pessoas que possuem aversão à aceitação de novas tecnologias. A avaliação precisa identificar de uma forma clara as pessoas interessadas e com habilidades para o novo sistema, com o propósito de gastar tempo em treinamento e educação com as pessoas certas - a capacidade de mudanças das pessoas pode ser o maior obstáculo. Outros dois obstáculos estão na determinação do tempo (*timing*) e na dispersão das pessoas - esses dois quesitos também devem ser avaliados.

3.5.1.4 PLM Assessment de práticas e processos

Grieves (2006) aponta pontos importantes para o ‘*assessment*’ de práticas e processos. Começa destacando em relevar quais as informações de fato necessárias para a organização através de um mapa de processos, avaliação de ‘*gateways*’ (sistemas de interligação entre duas ou mais redes com diferentes protocolos de comunicação) e a transferência do mapa em papel para um processo digital. Ressalta que, embora as organizações tenham seus mapas de processos completos e detalhados, a maioria dos fluxos é obsoleta em relação ao momento da nova implementação, porque os mapas de processos são estáticos enquanto que as organizações são dinâmicas. Recomenda que, no momento da implementação do novo sistema PLM, o mapa de processos seja revisto - o motivo é que todos os dias as práticas são modificadas e adaptadas em função de novas necessidades.

3.5.1.5 PLM2M e fluxos de trabalho

Siller et al. (2009) tratam as necessidades básicas para o gerenciamento de fluxos de trabalho em quatro aspectos: componentes básicos, modelagem do fluxo de trabalho, representação do fluxo e fluxo de dados de controle. Comentam que o gerenciamento de processos colaborativos necessita ser complementado por funcionalidades extras, com o propósito de facilitar uma correta coordenação de tarefas entre equipes distribuídas. Ainda, complementam que as atuais ferramentas de PLM possuem sistemas de

O trabalho de criação de fluxos de processos dentro do Teamcenter é fácil e intuitivo, mesmo assim, como o modelo de referência PLM2M pode compreender o tratamento de fluxos mais amplos com cenários complexos e dispersos que consideram a empresa como um todo e a cadeia de fornecimento (*supply chain/supply net*), para um ‘*assessment*’ mais abrangente faz-se necessário ter uma visão conceitual ampliada dos sistemas WfMS para gerenciamento de fluxos de trabalho.

3.5.1.6 Visão ampliada do gerenciamento de fluxos de trabalho

No contexto de mapeamento de processos para fluxos de trabalho, Siller et al. (2009) comentam que um sistema WfMS define, cria e gerencia a execução de fluxos através de softwares que suportam uma ou mais partes (*engines*) do fluxo. Os componentes de software WfMS armazenam e interpretam as definições de processos, criam e gerenciam ocorrências, assim como controlam as interações com os participantes e aplicações do fluxo. Ainda indicam, de acordo com o WfMC e com o propósito de definir a representação do modelo do fluxo de trabalho (Tabela 3.4), os componentes básicos necessários para um sistema WfMS suportar a coordenação e colaboração entre participantes distribuídos.

Tabela 3.4 - Componentes básicos necessários para um sistema WfMS

Composição	Características
Atividade (<i>activity</i>)	Descrição de uma parte (<i>piece</i>) do trabalho que forma uma sequência lógica dentro de um processo - a atividade pode ser manual ou automatizada;
Participante (<i>participant</i>)	Um recurso que desempenha o trabalho representado por uma ocorrência de atividade em um fluxo de trabalho - na maioria das vezes manifestada através de um ou mais itens associados a uma lista de trabalho;

Regra (<i>role</i>)	Um mecanismo que associa os participantes a uma coleção de atividades do fluxo de trabalho - neste caso, a partir de um sistema de gerenciamento de fluxo de trabalho (WfMS) - um participante assume uma regra para acessar e processar uma tarefa;
Rota (<i>routing</i>)	Define a sequência de passos que a informação deve seguir dentro de um fluxo de trabalho - um elemento fundamental para dirigir todas as atividades de trabalho para participantes distribuídos - a proposta é garantir o sucesso do fluxo de informações e tomadas de decisão;
Regra de transição (<i>transition rule</i>)	Uma expressão lógica que determina o fluxo das ações em função de necessidades - pode-se atribuir valores a operadores lógicos em função de múltiplas opções, variações ou exceções;
Evento (<i>event</i>)	Ocorrência de uma condição particular (pertencente ou não ao fluxo) que influencia o software de gerenciamento do fluxo no processo de decisão para uma ou mais ações - Siller et al. (2009) citam como exemplo a chegada de uma mensagem (e-mail) para o início de um processo específico;
Prazo/data final (<i>deadline</i>)	O planejamento de um conjunto de atividades, no fluxo de trabalho, que considera restrições de tempo.

Fonte: Managing Collaborative Process Planning Activities through
Extended Enterprise - Siller et al. (2009).

Siller et al. (2009) comentam que todos os itens expostos podem ser representados por um modelo de fluxo de trabalho (*workflow model*), para ser interpretado e executado por um sistema de fluxo de processos a qualquer tempo - como nas aplicações do Teamcenter. Neste caso, orientam que se faz necessário selecionar a metodologia para a modelagem (representação) do fluxo. Existem inúmeras metodologias para a representação de fluxos de processos ou fluxos de trabalho. Jeston e Nelis (2008) vão de encontro ao modelo PLM2M e expressam que é muito importante considerar para o software em questão (WfMS ou BPM) o uso de padrões robustos de modelagem, representação, orquestração, execução e interoperabilidade. Conotam que, com o avanço das tecnologias *web services*, XML e SOA, é perfeitamente possível estender a automação da modelagem de processos de trabalho além da organização e incluir fornecedores, clientes e parceiros. Tanto Siller et al. (2009) como Jeston e Nelis (2008), assim como outros autores e pesquisadores, destacam dois padrões relevantes em uso: o BPEL (*Business Process Execution Language*) e o BPMN (*Business Process Management Notation*).

Siller et al. (2009) afirmam que vários sistemas WfMS suportam a execução de processos BPEL, porém advertem que as ferramentas de modelagem BPEL não possuem um nível adequado de abstração para suportar as fases de análise e projeto de processos altamente complexos como no caso do projeto colaborativo de produtos, no planejamento de processos e na manufatura. Ao contrário, destacam o BPMN como um padrão que tem atraído a atenção de analistas de negócios e arquitetos de sistemas como uma linguagem para definição de esquemas, diagramas e planos (*blueprints*) na implementação dos processos de negócios.

O BPMN é uma linguagem gráfica (*graph-oriented language*) onde nós de ação e controle podem ser conectados de forma arbitrária. Embora suportada por inúmeras ferramentas de modelagem (WfMS/BPM), nenhuma delas, conforme Siller et al. (2009), permitem executar diretamente modelos BPMN; existe a necessidade da interpretação do BPMN ser executada por meio de um serviço de representação do fluxo de trabalho WAPI (*Workflow Application Programming Interface*) composto de um conjunto de interfaces que complementam o software (Figura 3.16). Um serviço de representação de fluxo WAPI é um serviço de software que consiste de um ou mais recursos de fluxos de trabalho (*workflow engines*) para criação, gerenciamento e execução de ações específicas ou um conjunto de ações.

Figura 3.16 - Esquema WAPI - *Workflow Application Programming Interface*. Fonte: Managing Collaborative Process Planning Activities through Extended Enterprise - Siller et al. (2009).

A Workflow Management Coalition (WfMC) descreve as características das cinco interfaces WAPI expostas no esquema:

- **Interface 1:** define um padrão de troca de informações para a interação entre o conjunto de ferramentas para definição de processos e o serviço de representação de fluxo;
- **Interface 2:** manipula (*handles*) um fluxo de trabalho do tipo ‘*client application*’ (aplicação cliente) com várias funções do tipo início e fim de fluxos - escrever e ler atributos de fluxos, preparar uma lista de trabalho para um usuário, entre tantas outras;
- **Interface 3:** ferramentas de agentes (softwares) que atuam em conjunto com o WfMS nas aplicações internas, externas e rotinas de procedimentos (*procedures*) predefinidas;

- **Interface 4:** permite a comunicação assíncrona entre o WfMS e programas externos de tal forma que se possa criar, gerenciar e examinar (*query*) os processos e suas nuances - pode-se acessar um sub fluxo (*sub-workflow*) de diferentes sistemas via XML e HTTP;
- **Interface 5:** define um formato padrão (*audit*) de dados que o sistema WfMS deve gerar para a administração e monitoramento da representação do fluxo de trabalho (*workflow enactment*).

Para complementar o ‘*assessment*’ de práticas e processos, Siller et al. (2009) ainda persistem nos dados de controle do fluxo de trabalho (*workflow persistence of control data*); afirmam que esses dados de controle são uma forma dinâmica de representar a execução dos processos WfMS e suas particularidades - a exemplo dos padrões de dados (*audit*) com registros de históricos. Devem ser escritos e armazenados para garantir o reinício e recuperação do sistema no caso de falhas. Para deixar claro, a WfMC criou um modelo de referência de dados de controle que identifica os estados dinâmicos do processo: (i) iniciado (*initiated*); (ii) em execução (*running*); (iii) ativo (*active*); (iv) suspenso (*suspended*); (v) completo (*complete*); (vi) terminado (*terminated*); (vii) arquivado (*archived*).

Jeston e Nelis (2008) comentam sobre outros padrões líderes para a automação da modelagem de processos de fluxo de trabalho, além do BPEL e BPMN. Citam também o padrão BPML (*Business Process Modeling Language*) que compete diretamente com o BPEL, o padrão Wf-XML (*Workflow XML*) para prover interoperabilidade entre múltiplos sistemas (*engines*) e extensos ciclos de BPM, e o padrão XPD, uma linguagem de definição de processo completo de negócio que pode ser usada para integrar componentes BPM para modelagem, execução e controle - largamente usada em produtos BPM ‘*open-source*’. Como ilustração (Figura 3.17), Siller et al. (2009) apresentam um modelo de fluxo de trabalho para planejamento colaborativo de processos na empresa estendida - relação OEMs e Tiers-1 - representado pela notação BPMN.

Figura 3.17 – Exemplo BPMN – Modelo de Fluxo de Trabalho para Planejamento Colaborativo de Processos na Empresa Estendida - Relação OEMs e Tiers-1. Fonte: Managing Collaborative Process Planning Activities through Extended Enterprise - Siller et al. (2009).

3.5.2 PLM Assessment – Sumário de avaliações

A Tabela 3.5 sumariza os componentes básicos para a aplicação de um PLM Assessment, reúne tópicos de avaliação citados por Grieves (2006), Siller et al. (2009), Jeston e Nelis (2008) e outros autores.

Tabela 3.5 – PLM Assessment – Componentes básicos para avaliação

GRUPO	ITEM	COMPONENTES BÁSICOS DE VERIFICAÇÃO
INFRAESTRUTURA	ADEQUAÇÃO DA TECNOLOGIA ATUAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hardware para capacidade de processamento local; 2. Hardware para capacidade de processamento em rede; 3. <i>Bandwidth</i> (Banda de transmissão da rede); 4. Capacidade de armazenamento; 5. Avaliação de servidores e bases de dados; 6. Políticas de back-up e segurança; 7. Avaliação de sistemas e softwares em uso; 8. Etc.
	ESCALABILIDADE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limites máximos de capacidade de processamento; 2. Limites de armazenamento; 3. <i>Bandwidth</i> (Largura da banda); 4. Etc.
	MODULARIDADE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento de capacidade de processamento; 2. Aumento de armazenagem de dados; 3. Backbone (Estrutura física central) de rede; 4. Etc.
	ACESSIBILIDADE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arquitetura de dados aberta - interoperabilidade; 2. Conversão de informações (XML, STEP etc.) 3. Etc.
SISTEMAS E APLICAÇÕES EM USO	SISTEMAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução de novos sistemas; 2. Sistemas e aplicações formais em uso; 3. Instalação, manutenção e suporte de sistemas; 4. Prática de sistemas legados; 5. Análise de sistemas informais;
	APLICAÇÕES	<ol style="list-style-type: none"> 6. Identificação de silos de conhecimento; 7. Análise do mapa do fluxo de informações; 8. Etc.

(CONTINUA)

GRUPO	ITEM	COMPONENTES BÁSICOS DE VERIFICAÇÃO
PESSOAS	DESENVOLVIMENTO E MANUFATURA DE PRODUTOS	1. Conhecimento e informações; 2. Experiência; 3. Formação; 4. Etc.
	USO DO TEMPO	1. Tarefas produtivas e não produtivas; 2. Pesquisa; 3. Retrabalho; 4. Informações perdidas; 5. Ociosidade; 6. Etc.
	ENVOLVIMENTO COM O PROJETO	1. Grau de importância; 2. Habilidades; 3. Disposição (estado de espírito/aversão) - dispersão; 4. Disponibilidade de tempo (<i>timing</i>); 5. Disposição de aprendizagem (educação e treinamentos); 6. Capacidade de mudança (<i>change mind</i>); 7. Etc.
PRÁTICAS E PROCESSOS	FLUXOS DE PROCESSOS	1. Tipo de mapa de processos (papel e/ou digital); 2. Cronologia do(s) mapa(s) de processo(s); 3. Tipo de atualização/revisão; 4. Automação de fluxos de processos (WfMS/BPM/BPMN); 5. <i>Templates</i> de <i>blueprints</i> (esquema, diagrama ou plano); 6. Processo de aprovação (<i>signoff</i>); 7. Subprocessos (dependentes e/ou independentes); 8. Etc.
	CENÁRIOS	1. Recursos (Internos, dispersos etc.) 2. Grau de integração dos sistemas internos; 3. Grau de colaboração dos sistemas externos; 4. Grau de automação dos processos (uso de software); 5. Qualidade dos processos; 6. Informações relevantes de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> ; 7. <i>Gateways</i> (marcos) – portas entre sistemas ou redes; 8. Etc.

Fonte: Grieves (2006), Jeston e Nelis (2008), Siller et al. (2009) e outros autores.

3.5.3 Relação PLM2M Assessment e CMM/CMMI

Assim como muitos autores, Grieves (2006) deixa claro que, uma vez identificadas as áreas de ‘*assessment*’ para a implementação do PLM, é importante estabelecer um ‘*framework*’ para aplicar as avaliações - coleção de práticas KPAs (*Key Process Area*) que representam o nível de maturidade. Existem vários modelos de referência para avaliação e implementação de sistemas na área de TI. A exemplo da Dassault Systèmes que destacou no Enovia V6 (PLM) e no Enovia 3DEXPERIENCE R2014X processos de governança como gerenciamento de programas, requisitos, configuração de portfólio e gestão de conformidades (*compliance*), e a Siemens PLM que há tempo mantém o módulo de aplicação de gerenciamento de portfólio de programas e projetos dentro do Teamcenter, no escopo de cronogramas, tarefas, processos, dependências, metas, restrições, análise de riscos e KPIs, tudo dentro dos aspectos de desempenho de recursos, desempenho comercial e financeiro.

Essas abordagens, com base em *frameworks* de governança e modelos de maturidade, vêm crescendo no mundo todo e em todos os sistemas de informação. Barbieri (2011) comenta que os holofotes dentro do universo corporativo ganharam mais intensidade no termo governança após os escândalos americanos como MCI, Enron etc.; a palavra ‘governança’ foi criando híbridos, produzindo derivações e acabou refletindo em qualidade e reputação. Isso levou a busca incessante de conceitos de processos e dados - sem qualidade de processos e governança de dados uma empresa não alcança controles efetivos, não minimiza riscos, não gerencia segurança, não oferece suporte às melhores decisões e não alinha a TI aos processos de negócios. Dessa forma, Barbieri (2011) comenta que pensar em governança de TI inclui pensar em governança de dados. Ainda, comenta que a qualidade dos processos está sendo buscada através da adoção de modelos de referência e normas que, quando seguidos, permitem definir ou ajustar processos com um controle mais efetivo e que conduza à qualidade - outro requisito do modelo de referência PLM2M.

Como exemplos de tendências de padrões de referência em governança de TI e governança de dados, pode-se citar o padrão COBIT (*Control Objectives for Information and related Technology*) e o modelo de referência ITIL (*Information Technology Infrastructure Library*). O COBIT é um guia de boas práticas recomendado para a gestão de TI com foco em

controles e auditorias. Foi criado pela ISACA (*Information System Audit and Control Association*) e inclui sumário executivo, framework, controle de objetivos, mapas de auditoria, ferramentas de implementação e um guia com técnicas de gerenciamento - o objetivo é melhorar o retorno sobre o investimento (ROI) com métricas de avaliação de resultados (KPIs, KGIs, CSFs etc.). O ITIL - para as atividades de infraestrutura de TI - possui doze gerências e se concentra nas operações, suporte a serviços e entrega de serviços. Foi originalmente desenvolvido pela CCTA (*Central Computing and Telecommunications Agency*) e atualmente está sob a custódia do OGC (*Office for Government Commerce*) - UK.

Outro exemplo, no tocante a melhoria de processos, é o modelo de maturidade CMM (*Capability Maturity Model*), que proporciona visibilidade do processo em nível gerencial e para o corpo técnico e operacional (CÔRTEZ, 1998). No caso de processos de software aplicados em projetos de melhoria para as organizações, maturidade - que significa plenamente desenvolvido - implica no potencial de um crescimento consistente. Segundo Medeiros (2011), uma organização ganha maturidade se institucionaliza os processos de software através de políticas, padrões e estrutura organizacional. O CMM surgiu no âmbito norte-americano do DoD (*United States Department of Defense*), tido como o maior comprador de software por encomenda do mundo. O objetivo, exposto por Barbieri (2011), era entregar o componente funcionando na sua plenitude, no primeiro *delivery*. A intenção estava em desenvolver grandes projetos, de gerência altamente complexa, torneados com escopo imutável e custo definido e, ainda, com altíssima aversão a riscos. Como exemplo, os primeiros projetos CMM surgiram para a fabricação de softwares que visavam naves espaciais, satélites e armamentos inéditos. Medeiros (2011) ainda cita que, para garantir a integridade e a precisão, em 1987 o DoD criou o SEI (*Software Engineering Institute*), que funciona até hoje na Universidade Carnegie Mellon, Pensilvânia - EUA. O SEI, como instituto, estabeleceu os modelos CMM e passou a regulamentar suas práticas em todo o mundo. Na época, a proposta do SEI era - como regra inicial - garantir a evolução da engenharia de software de uma atividade desordenada e dispendiosa para uma atividade gerenciada, disciplinada e com qualidade de produto controlada. Barbieri (2011), Medeiros (2011) entre outros, em linhas gerais, afirmam que o modelo CMM foi publicado em meados de 1989 por Watts Humphrey na obra 'Managing the Software Process'.

Não obstante, como conhecimento, trazendo o modelo CMM aos dias atuais (CMMI - *Capability Maturity Model Integrated*), tais procedimentos estão vinculados a várias

práticas. Vale ressaltar as citações de Barbieri (2011), que alinhadas ao OGC-UK e muitos outros pesquisadores e autores, declara que o CMMI está incluído nas atividades de suporte e entrega de serviços do ITIL para administração da infraestrutura de TI. Em linhas gerais, o emprego do CMMI no ITIL inclui as áreas de gerenciamento de incidentes, problemas, configuração, mudanças e liberações. O gerenciamento de problemas, que objetiva reduzir o impacto e danos causados pela infraestrutura de TI, mantém uma relação de similaridade com as atividades de garantia de qualidade, inspeções, testes e validação incorporadas aos modelos CMMI. Ainda, o modelo CMMI se relaciona com as áreas de gerenciamento de configuração e gerenciamento de liberações. Para fechar os exemplos de tendências, Grieves (2006) deixa claro que os procedimentos de PLM ‘*assessment*’ suportam muito bem o modelo de maturidade CMMI, na época CMM.

De forma geral o CMMI ganhou aceitação na área de tecnologia da informação e sustenta, do ponto de vista conjunto de capacidades, os objetivos do modelo de referência PLM2M quanto à maturidade de capacidade de um ‘*assessment*’ em PLM bem estruturado. Outra importante conotação de prática, para o modelo de referência PLM2M, está na Siemens PLM referenciar a adoção da estrutura CMM para a gestão de portfólio com o uso do Teamcenter. O artigo ‘Portfolio Management for the Product Lifecycle’ da Siemens PLM (2009) reforça que, entre as inúmeras boas práticas para as iniciativas de um efetivo gerenciamento de portfólio com base em PLM, o modelo *Carnegie Mellon Capability Maturity Model* (CMM) oferece a metodologia mais formal para identificar ações específicas que devam ser garantidas. Ainda, o artigo da Siemens PLM acrescenta a referência do guia ‘Toolbook for New Product Development’, que provém da associação americana de Chicago PDMA (*Product Development Management Association*), para uma abordagem denominada ‘*spiral up*’ que estabelece um modelo de maturidade de cinco níveis, com base no modelo CMM. Como resultado final deste exemplo, a Siemens PLM (2009) destaca que, como o modelo CMM é aplicado nível a nível, as equipes podem implementar e executar o processo de gerenciamento de portfólio mais eficientemente.

Existem inúmeras referências de aplicação para o modelo de maturidade CMM - *Capability Maturity Model*. A origem do modelo de maturidade CMM se deu, conforme exposto pelo SEI, na gestão de softwares envolvidos com projetos estratégicos de entrega de produtos complexos e de alto risco, apoiados em métodos altamente estruturados, com forte gerência de requisitos e estrito controle das partes envolvidas - a infalibilidade do software era

a primeira premissa (BARBIERI, 2011). Mais atualmente se estendeu aos procedimentos de gestão de projetos (CARVALHO E RABECHINI JR, 2011), gestão de portfólio (SIEMENS PLM SOFTWARE, 2010), suporte ao ITIL (BARBIERI, 2011), procedimentos para investigação de crimes digitais (KERRIGAN, 2013), uso conjunto com Seis Sigmas (SEI) e, entre tantos outros, aos procedimentos de ‘*assessment*’ para a implementação da abordagem PLM (GRIEVES, 2006; KÄRKKÄINEN et al., 2009; SILVENTOINEN et al., 2011). Percebe-se claramente que o CMM/CMMI pode ser aplicado em inúmeras situações, o que o leva a uma abrangência sem precedentes. O SEI foi mais além e criou o CMMI Institute (<http://cmmiinstitute.com/>) sustentado pela universidade Carnegie Melon.

3.5.3.1 Visão CMMI Institute

O CMMI Institute é a organização que suporta o CMMI - *Capability Maturity Model Integration* e propõe *frameworks* de melhoria de processos para guiar as organizações em operações de alto desempenho (*high-performance*) - como no caso da implementação de soluções PLM com o uso de recursos dispersos e muitas outras aplicações. Em seu apelo, o CMMI Institute deixa claro que o modelo CMMI não se concentra apenas em desenvolvimento de software e se mostra preocupado com o avanço do estado de melhores práticas em vários setores. Ainda, provê mais dois *frameworks* que são o People CMM Model (*People Capability Maturity*) e o DMM Model (*Data Management Maturity*) para atingir a maturidade de processos, que envolve pessoas e dados.

Uma conotação importante na relação com o modelo de maturidade PLM2M é que o CMMI Institute indica seus modelos de maturidade para pequenas e grandes organizações e uma variedade de indústrias que inclui aeroespacial, defesa, automotiva, transporte, desenvolvimento de software, telecomunicações, setor financeiro e serviços de saúde, ampliando assim o leque de aplicações de ‘*assessment*’ (avaliação) para o modelo PLM2M. No final, um ‘*assessment*’ com base no CMMI auxilia uma grande variedade de indústrias a alinhar e conseguir uma expressiva melhoria na relação negócios e engenharia para os objetivos de custo, programação, produtividade, qualidade e satisfação do cliente. O modelo CMMI está disponível em três arranjos: CMMI para aquisição (*CMMI for Acquisition*); CMMI para desenvolvimento (*CMMI for Development*) e CMMI para serviços (*CMMI for Services*).

Na linha de Barbieri (2011), vale comentar o Data Management Maturity Model, o modelo que avalia e apoia a maturidade da governança de dados para ambientes complexos e de muitas características (*multi-faceted*), como é o caso dos ambientes das empresas de manufatura, onde a pesquisa aponta para um cenário de ativos de dados redundantes (excessivos e supérfluos) e definidos em silos. No PLM2M Assessment o uso do modelo DMM cria a possibilidade de definir regras claras e responsáveis para os propósitos dos negócios com base no gerenciamento de dados (informações e conhecimento) para as aplicações da abordagem PLM para produto, fábrica e logística. O resultado está em identificar problemas, educar e informar os vários níveis hierárquicos da organização e *stakeholders* (os envolvidos no processo), definir um plano e iniciativas de alta prioridade e, ainda, criar e sustentar um programa de gerenciamento de dados com sucesso, incluindo, como exemplos, padronização de terminologia, aumento de capacidade e alinhamento de negócios com a TI.

A proposta do DMM Model é oferecer - em uma linguagem comum - o retrato do cenário das disciplinas fundamentais do gerenciamento de dados (Figura 3.18) para uma avaliação de maturidade. Como recomendado por Grieves (2006), a avaliação da maturidade é definida para cada nível de processo de negócio permitindo - de forma eficiente - que cada organização (grupo funcional ou departamento) possa documentar as melhores práticas, identificar e melhorar o gerenciamento de dados em suas unidades de negócios e fronteiras (*geographic boundaries*). Ainda, para enriquecer o leque de opções, o modelo de conteúdo do núcleo DMM permite colaborar profissionais de gerenciamento de dados, gerentes operacionais, profissionais de TI e representantes de várias linhas de negócios.

Figura 3.18 – Modelo DMM (*Data Management Maturity*) - Gerenciamento de dados para as áreas de processos específicas agrupadas por categorias - Fonte: <http://whatis.cmmiinstitute.com/data-management-strategy> - (Acesso em maio de 2014).

Em linhas gerais, O CMMI Institute (<http://whatis.cmmiinstitute.com/>), em parceria com o SEI, oferece um conjunto de serviços que inclui treinamentos, materiais didáticos e certificações, o que reforça a prática do PLM2M Assessment em diversos níveis de aplicação e hierarquia de cargos e atividades. Destacam-se os seguintes relatórios técnicos: (i) CMMI for Acquisition, Version 1.3 (CMMI-ACQ, V1.3) para melhoria de processos de aquisição de produtos e serviços (*suppliers*); (ii) CMMI for Development, Version 1.3 (CMMI-DEV, V1.3) para melhoria de processos de desenvolvimento de produtos e serviços; (iii) CMMI for Services, Version 1.3 (CMMI-SVC, V1.3) para melhoria de processos para entrega de serviços; e (iv) People Capability Maturity (PCMM Model) para melhoria de desempenho de pessoas e agilidade da força de trabalho (*workforce*).

3.5.3.2 CMM/CMMI como *assessment* para PLM

Normalmente as abordagens de PLM e Manufatura Digital são adotadas para a solução de problemas de engenharia e manufatura - fluxos de trabalho e distorção das informações e do conhecimento - com a intenção de prover melhorias para as organizações industriais. Mesmo tendo ciência de tais problemas as organizações resistem à importância

das melhorias, principalmente porque não possuem uma estratégia organizada e um consenso sobre a prioridade das atividades que as implementações de PLM exigem. É necessário ter um modelo de referência que se traduz em resultados duradouros a partir de esforços em melhorias de processos que consiga trilhar um caminho evolutivo e incremental (MEDEIROS, 2011). O PLM2M, como proposta de um modelo de referência, através do PLM2M Assessment e como base no CMMI, identifica e organiza a maturidade e a capacidade dos envolvidos nos processos de implementação da abordagem PLM e Manufatura Digital.

Um processo de implementação de PLM deve ser visto como um conjunto de atividades, práticas, métodos e transformações - o PLM2M Assessment permite identificar quanto uma organização está madura para absorver e manter as aplicações de PLM e/ou de Manufatura Digital. Além da capacidade de atingir os processos e respectivos desempenhos das organizações, o PLM2M Assessment - com o apoio do modelo CMMI - analisa a maturidade e leva em conta até que ponto um processo específico está definido, gerenciado, mensurado, controlado e é efetivo para o processo de melhoria corporativa, integrando diferentes modelos e disciplinas.

Como visão geral, o modelo CMMI oferece uma estrutura em cinco níveis de identificação de maturidade (Figura 3.19), que ordena a identificação de tais níveis e facilita o conjunto de ações na implementação do PLM e Manufatura Digital, onde os resultados reais alcançados e identificados em cada nível de maturidade são utilizados como embasamento e orientação para o próximo nível (aplicação gradual). Um nível de maturidade representa um estágio evolutivo bem definido com relação à obtenção de um processo de implementação maduro. Ainda, cada nível de maturidade se relaciona com o nível de capacidade do processo.

Figura 3.19 – Os cinco níveis de maturidade do CMM/CMMI (com base no desenvolvimento de software) -

Fonte: Capability Maturity Model For Software – Fagundes (2004).

A proposta do PLM2M Assessment, com o uso de CMMI, é descrever um caminho evolutivo, desde processos caóticos (*ad hoc*) até processos maduros e disciplinados, levando-se em conta a integração dos conceitos de melhoria de processos, níveis de capacidade, desempenho e os cinco níveis de maturidade oferecidos pelo CMM/CMMI (GRIEVES, 2006): (1) inicial (*ad hoc*); (2) repetível (*repeatable*); (3) definido (*defined*); (4) gerenciado (*managed*); e (5) otimizado (*optimized*) – detalhados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Níveis de maturidade oferecidos pelo CMM/CMMI

Níveis de Maturidade	Características
1 - Inicial	O trabalho é feito para um determinado fim (<i>ad hoc</i>), ou seja, de acordo com o momento. Existem poucos processos e, ainda, os processos não são repetitivos ou definidos. Na maioria das vezes os resultados são pouco eficientes e contam com a habilidade das pessoas para resolver tarefas de acordo com as necessidades.
2 - Repetível	Percebe-se que, pelo menos, as práticas e processos são feitos do mesmo modo. Atribuem-se os mesmos ‘ <i>inputs</i> ’ e esperam-se os mesmos ‘ <i>outputs</i> ’. Em geral, as pessoas definiram um padrão de trabalho e seguem este padrão - o processo está baseado na eficiência do ‘ <i>output</i> ’ (nos resultados da entrega). De forma simples, as pessoas se concentram em aprender uma única rotina sem opções.
3 - Definido	De forma geral, através de práticas e processos previamente definidos, existem informações para selecionar os ‘ <i>inputs</i> ’ e, conseqüentemente, ter os ‘ <i>outputs</i> ’ desejados para um determinado resultado. Ainda, usa-se documentar tais procedimentos com o propósito de comparar situações futuras e assegurar que os métodos possam ser repetidos.
4 - Gerenciado	Com o propósito de alcançar metas e objetivos, as práticas e processos são gerenciados através de métricas que indicam o

	consumo de recursos e os resultados obtidos - ‘ <i>outputs</i> ’ com foco em quantidade e qualidade.
5 - Otimizado	Além das práticas e processos estarem sob a ótica de métricas e constantes avaliações para que se atinjam as metas e objetivos de forma mais eficiente, faz-se uso de práticas de melhoria contínua. Práticas e processos e, principalmente, os ambientes são avaliados de forma contínua - as mudanças não ocorrem somente nos métodos, mas também nos ambientes. Existem ações preventivas (proatividade) no sentido de identificar potenciais mudanças que reflitam no aprimoramento de sistemas, processos e práticas, antes que haja a ocorrência de problemas e interrupções.

Fonte: Product Lifecycle Management – Driving the Next Generation of Lean Thinking - Michael Grieves (2006).

Grieves (2006) deixa claro que as organizações estão ancoradas nos atributos que cada nível de maturidade oferece e não devem ser confundidos como uma pontuação arbitrária de um a cinco, a exemplo da escala Likert, um tipo de pesquisa psicométrica quantitativa para registrar o nível de concordância ou discordância. Pela experiência, Grieves (2006) cita que a quase totalidade das organizações apresenta uma gama de eficiência em seus processos entre 30% e 80%. Complementa que, ao traçar um gráfico da eficiência do nível de maturidade CMM em relação à porcentagem de eficiência (Figura 3.20), uma organização de nível um (inicial ou *ad hoc*) está na faixa de 30% de eficiência. Ao contrário, as organizações que estão pontuadas com o nível cinco (otimizadas) estão caracterizadas com um nível de eficiência de 80%. É importante notar que a relação entre maturidade e eficiência entre os níveis um e três, na probabilidade, é relativamente linear; isso significa que as melhorias, nesses níveis, são graduais e evolutivas traduzidas por tarefas rotineiras (de caráter da instituição), não existem indicadores para ações de melhoria - a única conotação é observar se o trabalho repetitivo está sendo bem feito.

Figura 3.20 - Efeito da eficiência no Modelo de Maturidade de Capabilidade CMM/CMMI. Fonte: Product Lifecycle Management – Driving the Next Generation of Lean Thinking - Michael Grieves (2006).

Percebe-se que a taxa de eficiência é maior nos níveis de maturidade quatro e cinco do CMM. Nesses níveis é possível sustentar análises e indicadores (*metrics*) para as rotinas de trabalho para que, de um modo efetivo, os processos possam ser melhorados com práticas de melhoria contínua (nível otimizado). Em resumo, uma organização terá melhor eficiência se os níveis de maturidade e de capacidade forem melhorados. Deve-se compreender que em todas as organizações existe uma coleção de funções discretas, frequentemente denominadas de departamentos ou áreas funcionais. Na prática, as promoções dos níveis de maturidade serão atingidas se os índices de capacidade forem contemplados.

Com base no cenário, para que se possa aplicar o modelo de referência PLM2M corretamente, o *assessment* de uma organização - que identifica o estado onde se está para o estado onde se quer chegar - deve ser executado não como um todo e sim como a avaliação das áreas funcionais. Grieves (2006) ainda complementa que o PLM Assessment, em uma organização, deve ser aplicado para funções individuais, departamentos e áreas e os níveis CMM/CMMI devem ser avaliados isoladamente. Ainda, muito importante, dentro da avaliação os indicadores de níveis para situações de áreas individuais não podem ser usados como indicadores gerais. E mais, os indicadores de desempenho devem ser atrelados às características que permitem distinguir os vários estágios do CMM/CMMI com base no tipo de características de desempenho e métricas que estão sendo investigados. Entretanto, como a implementação do PLM é uma ação que, geralmente, diz respeito à organização como um

todo, deve-se olhar para o mapa de processos e fluxos de trabalho do ponto de vista geral (no todo), mantendo a avaliação das áreas funcionais isoladamente e seu reflexo no conjunto.

Do ponto de vista conceitual, John Stark (2005), Mayer e Plapp (2008), Chryssolouris et al. (2009), Wang e Nee (2009), Siller et. al (2009) e também Grieves (2006), entre vários outros pesquisadores e autores, tratam o gerenciamento do ciclo de vida do produto como uma abordagem para a integração e colaboração entre as várias áreas funcionais de uma empresa de manufatura: análise e planejamento de requisitos, engenharia conceitual e prototipagem, engenharia do produto, engenharia de manufatura, produção, vendas e distribuição, manutenção e suporte, descarte do produto e reciclagem.

Grieves (2006), em especial, usa esse conceito, o qual denomina modelo PLM, para ilustrar a aplicação do ‘*assessment*’, com base no CMM/CMMI às várias áreas funcionais (ou fases) do gerenciamento do ciclo de vida do produto (PLM), da seguinte forma: a partir do núcleo do modelo (considerado o núcleo de informações - cPDm) traçam-se vários vetores em direção a cada área funcional; ao longo do vetor identificam-se cinco segmentos representando, de um a cinco, os níveis de maturidade do CMM/CMMI - desde o nível ad hoc até o nível otimizado. Depois de aplicado o ‘*assessment*’ (*as-is*), considerando todas as recomendações para identificar práticas, processos, mapas de fluxos, infraestrutura de TI, cultura das pessoas e tudo o que foi indicado e sugerido na Tabela 3.5 (pág 94), conectam-se os pontos entre os níveis de maturidade iniciais de tal forma que se forme uma área hachurada (Figura 3.21). Com base na área hachurada da figura pode-se identificar o nível de maturidade da organização como um todo.

Figura 3.21 - Níveis de maturidade CMM/CMMI aplicados às várias áreas funcionais do Modelo PLM. Fonte: Product Lifecycle Management – Driving the Next Generation of Lean Thinking - Michael Grieves (2006).

Grieves (2006) reforça a importância de resistir à fácil conclusão que, de forma geral, as organizações devam ter o máximo de área hachurada. O fato é que cada área funcional deve sofrer uma análise detalhada e, até mesmo, ser quebrada em departamentos, grupos de funções, grupos de tarefas, de acordo com a necessidade do contexto da análise - recursos, custos, qualidade, prazos, etc. A questão é que existe a necessidade de avaliar cada área funcional e determinar o nível (um a cinco) em relação ao CMM/CMMI (*as-is*) e ainda decidir qual o nível de maturidade desejado (*to-be*) para situações que sejam plausíveis de conseguir, ou seja, que possam ser executadas. Depois de aplicado o ‘*assessment*’ para a identificação de todas as situações desejadas (*to-be*) inclusive, conectam-se os pontos entre os níveis de maturidade futuros de tal forma que forme outra área mais externa que, a exemplo, pode ser pintada (Figura 3.22). Aqui ficam identificados os escopos das tarefas de implementação do PLM para cada área funcional (e/ou partes), quais as intenções e metas a serem atingidas e melhoradas com o uso da nova abordagem. A proposta, dentro de uma visão do PLM como processo de negócios para melhorias e transformações, é fechar o ‘*gap*’ entre a situação atual (*as-is*) e a situação futura (*to-be*) que se deseja alcançar. De preferência, deve-se elaborar um plano de ação e identificar as áreas funcionais de maior impacto econômico, com redução de custos e aumento de lucratividade.

Figura 3.22 - Níveis de maturidade futuros CMM/CMMI aplicados às várias áreas funcionais do Modelo PLM.

Fonte: Product Lifecycle Management – Driving the Next Generation of Lean Thinking - Grieves (2006).

Grieves (2006) alerta sobre algumas situações e precauções. Por exemplo, a promoção de uma área funcional do nível quatro para o nível cinco (aperfeiçoar processos continuamente) pode proporcionar o maior impacto na eficiência, enquanto que a promoção de uma área funcional do nível um para o nível dois (disciplinar processos) pode proporcionar o maior impacto econômico, principalmente se a quantidade de recursos aplicados nessa situação for intensa. Em linhas gerais se deve atribuir indicadores qualitativos e quantitativos para os diferentes níveis do modelo de maturidade CMM/CMMI. Ainda, as recomendações de Grieves (2006) se acentuam em procurar por caminhos simples, identificar desvios, pessoas e/ou equipes que estão fora da média em suas práticas, procurar por ineficiências e externalidades (efeitos positivos ou negativos - em termos de custos ou de benefícios), ou seja, procurar pelo impacto de uma decisão sobre aqueles que não participaram dessa decisão.

Todo esse cenário, na prática do modelo de referência PLM2M, é representado - entre inúmeros procedimentos - pelo conjunto de fundamentos proposto pelo CMM/CMMI e muito pelos critérios de métricas de desempenho oferecidos pelo Teamcenter, que inclui o planejamento e gerenciamento dos processos de manufatura com o uso do Tecnomatix. Como parte do *framework* PLM2M o Teamcenter soma as capacidades de gerenciamento e visibilidade de execução de programas com base na abordagem PLM exposta por Grieves (2006), onde combina o gerenciamento do conhecimento, a orquestração de processos e as

capacidades de gerenciamento de projetos, com funcionalidades representadas por um *dashboard* em tempo-real, tudo dentro da abrangência do gerenciamento de portfólio e programas que o PMI propõe. A amplitude do modelo de referência PLM2M, com o auxílio do Teamcenter, permite extrair das organizações informações decisivas de processos a partir de grupos individuais para refletir nos programas da organização como um todo. Essas métricas oferecidas pelo Teamcenter incluem técnicas para medir o desempenho de programas de *roll-up*, medir o desempenho de pequenos ou grandes processos, KPIs para estratégias customizadas e indicadores para análise de riscos.

3.5.3.3 Visão ampliada CMMI/CMMI-DEV

Na prática, existem vários métodos e abordagens sistemáticas para avaliar a maturidade, a capacidade e outros indicadores (qualitativos e quantitativos) para o desempenho dos grupos, itens e componentes expostos, no sentido de uma implementação bem sucedida de PLM. Cada empresa, cada área funcional ou departamento pode configurar o uso da aferição de indicadores de acordo com a cultura e expertise de seus gestores – desde tópicos como taxas de produtividade e eficiência para o trabalho, fábrica etc., estudo de métodos e tempos, avaliação da capacidade de grupos, uma simples análise SWOT - *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças), que identifica elementos chave para a gestão em pauta, critérios de desempenho para o planejamento estratégico, financeiro, de marketing, de produção, métodos empíricos, métodos tradicionais como a ISO 9000, PMBOK, MR-MPS (Modelo de referência para melhoria do processo de software da Softex) e o próprio CMMI, até métodos ágeis como SCRUM e outros. O importante é entender que o PLM2M Assessment pode ser considerado como uma categoria de serviços que incluem métodos e ferramentas de análise consistentes para, de forma rápida e simples, identificar as melhorias e transformações para a implementação do modelo PLM2M.

Nesse sentido, os níveis de maturidade do CMMI adotados para o modelo de referência PLM2M cumprem o papel de refletir, de maneira real, o estado atual (*as-is*) do ambiente em análise - dentro de critérios de comparação dos vários componentes básicos de verificação - com a situação onde se quer chegar '*to-be*'. O framework CMMI não é único e não é tão simples como Grieves (2006) ilustra na representação do gráfico de vetores para cada área funcional. Conforme exposto pelo SEI e CMMI Institute, existem aplicações de avaliação de maturidade específicas para processos de aquisição de produtos e serviços

(CMMI-ACQ), para melhoria de processos de desenvolvimento de produtos e serviços (CMMI-DEV), para melhoria de processos de entrega de serviços (CMMI-SVC), para melhoria de desempenho de pessoas e agilidade da equipe de trabalho (PCMM Model) e para apoiar a maturidade da governança de dados (DMM Model).

Para um *assessment* mais rigoroso a pesquisa recomenda a adoção do *framework* CMMI-DEV (CMMI *for Development*) focado em práticas que suportam o ciclo de vida de produtos, desde a concepção até a entrega e manutenção. O CMMI-DEV e os demais CMMIs consideram as mesmas dimensões críticas do PLM citadas por Grieves (2006): pessoas, procedimentos e métodos, ferramentas e equipamentos, as quais formam os processos. O CMMI-DEV engloba 22 áreas de processo definidas no modelo, todas focadas no desenvolvimento e aprimoramento da organização. Dezesseis áreas centrais de processo (*core*), uma área de processo compartilhada e cinco áreas de processo para desenvolvimentos específicos como requisitos (*addressing requirements*), aplicações técnicas, integração do produto, verificação e validação.

Uma área de processo pode ser considerada como um grupo (*cluster*) de práticas relacionadas que, quando implementadas coletivamente, atendem a um conjunto de objetivos para a melhoria da própria área e da organização. No âmbito de objetivos e práticas genéricos ou específicos, é necessário entender os componentes do modelo CMMI para cada área de processo, agrupados em três categorias: ***required*** (obrigatória) - mede a efetividade de um processo para objetivos específicos ou genéricos, essencial para alcançar melhoria nos processos; ***expected*** (provável) - avalia a importância das atividades para práticas específicas ou genéricas, orienta na implementação de melhorias ou realização de avaliações; e ***informative*** (instrutiva) – são componentes informativos para ajudar na interpretação do modelo CMMI como exemplos, explicações detalhadas e informações de ajuda.

Ainda, a avaliação da maturidade de cada grupo de indivíduos (equipes), departamentos, setores de uma organização ou a mescla de áreas funcionais pode ser representada por áreas de processo que englobam objetivos e práticas (genéricos para propósitos coletivos ou específicos para propósitos dedicados). Uma vez entendido os componentes do modelo CMMI deve-se entender o conceito de níveis e como as áreas de processo são organizadas e usadas através do mapeamento de processos. O CMMI-DEV não especifica que um projeto ou organização deva seguir um fluxo de processo em particular ou que deva ser produzido certo número de produtos por dia e nem tão pouco que se deva atingir

objetivos de desempenho específicos; o que o CMMI-DEV especifica é que deve haver um mapeamento de processos através de um método consistente. No caso do modelo de referência PLM2M/PLM2M Assessment recomenda-se o uso de ferramentas WfMS - *Workflow Management Systems* - expostos por Siller et al. (2009) e a abordagem BPM - *Business Process Management* - exposta por Jeston e Nelis (2008).

Os níveis descrevem o caminho evolucionário no desenvolvimento de produtos ou serviços - muito apropriado para as empresas de manufatura - e podem ser considerados, no CMMI-DEV, como o resultado da avaliação (*assessment*) para, por exemplo, a implementação da abordagem PLM em determinada área de processo ou grupos de áreas de processo. Ainda, o CMMI-DEV define que os níveis podem ser de dois tipos: níveis de capacidade ou níveis de maturidade. Esses dois níveis correspondem a duas abordagens de melhorias de processos denominadas ‘representações’ (*representations*). Essas duas representações são indicadas como ‘contínua’ (*contínuos*) e ‘gradual’ (*staged*). A representação contínua está associada ao nível de capacidade - que representa a capacidade de executar um processo dentro de especificações determinadas - e a representação gradual ao nível de maturidade - que representa o quanto uma área de processo é capaz de receber uma implementação do tipo PLM.

A Figura 3.23 ilustra que os níveis de capacidade (representação contínua) são aplicados nos objetivos genéricos e específicos (atividades), já os níveis de maturidade (representação gradual) são aplicados nas áreas de processo, formadas pelas áreas funcionais - conforme a denominação de Grieves (2006) para o modelo PLM - ou mescla delas. Do ponto de vista prático, as dimensões capacidade e maturidade do CMMI são usadas como *benchmarking* (busca de melhores práticas) e atividades de avaliação (*assessment*), ambas para guiar a organização nos esforços de melhorias.

REPRESENTAÇÃO CONTÍNUA

REPRESENTAÇÃO GRADUAL (INCREMENTAL)

Figura 3.23 – Estrutura das representações contínua e gradual (incremental) – Fonte: CMMI-DEV, V1.3 - Improving processes for developing better products and services - (2010).

Em resumo, existem quatro níveis de capacidade (representação contínua) numerados de zero a três - (0) incompleto (*incomplete*), (1) executado (*performed*), (2) gerenciado (*managed*) e (3) definido (*defined*) – e, como já visto, cinco níveis de maturidade (representação gradual) numerados de um a cinco - (1) inicial (*ad hoc*), (2) repetível (*repeatable*), (3) definido (*defined*), (4) gerenciado (*managed*), e (5) otimizado (*optimized*) – Figura 3.24.

<i>Level</i>	<i>Continuous Representation Capability Levels</i>	<i>Staged Representation Maturity Levels</i>
Level 0	Incomplete	
Level 1	Performed	Initial
Level 2	Managed	Managed
Level 3	Defined	Defined
Level 4		Quantitatively Managed
Level 5		Optimizing

Figura 3.24 – Comparação entre os níveis de capacidade e maturidade – Fonte: CMMI-DEV, V1.3 - Improving processes for developing better products and services - (2010).

A relação dos níveis com as áreas de processo podem ser visualizadas nas duas representações (contínua e gradual). A representação contínua (Figura 3.25) permite que a organização escolha, em função do nível de capacidade, as áreas de processo, ou conjuntos inter-relacionados de áreas de processo, como benefício para os objetivos do negócio.

Figura 3.25 – Áreas de processos com representação contínua. – Fonte: CMMI-DEV, V1. (2010).

As áreas de processos, na representação contínua, estão organizadas em quatro categorias fundamentais (gestão de processos, gestão de projetos, engenharia e suporte) e quatro categorias de alto desempenho (OPP - *Organizational Process Performance*, QPM - *Quantitative Project Management*, OPM - *Organizational Performance Management* e CAR - *Causal Analysis and Resolution*). Uma vez selecionadas as áreas de processo, deve-se estabelecer o quanto cada área de processo deve amadurecer, isso se dá avaliando os processos associados com métricas baseadas em metas, níveis de recursos e práticas. Por exemplo, uma organização pode alcançar nível de capacidade dois em uma área de processo e nível três em outra. A organização como um todo quando alcança um nível de capacidade pode ampliar seus esforços para um próximo nível em uma ou várias áreas.

A representação gradual (Figura 3.26) expressa o caminho da melhoria das áreas de processo desde o nível inicial até o nível otimizado. Em outras palavras, as áreas de processos são agrupadas por níveis de maturidade. Por exemplo, uma organização para atingir o nível de maturidade dois (repetível) deve cumprir todas as metas de todas essas áreas de processo respectivas ao nível de maturidade dois. Quando o nível de maturidade dois é atingido, a organização concentra seus esforços no nível de maturidade três, e assim por diante. As metas que se aplicam a cada área de processo também são pré-determinadas.

Figura 3.26 – Áreas de processos com representação gradual. - Fonte: CMMI-DEV, V1.3 (2010).

A Tabela 3.7 exibe, em ordem alfabética, as áreas de processo e respectivas categorias (gestão de processos, gestão de projetos, engenharia e suporte) e respectivos níveis de maturidade do CMMI-DEV.

Tabela 3.7 – 22 áreas de processos do CMMI-DEV

ITEM	ÁREAS DE PROCESSO	CATEGORIA	NÍVEL DE MATURIDADE
01	CAR (<i>Causal Analysis and Resolution</i>): Análise e solução de situações (causas)	Suporte	5
02	CM (<i>Configuration Management</i>): Gerenciamento de configuração	Suporte	2
03	DAR (<i>Decision Analysis and Resolution</i>): Análise e adoção de decisões	Suporte	3
04	IPM (<i>Integrated Project Management</i>): Gerenciamento integrado de projeto	Gestão de Projetos	3
05	MA (<i>Measurement and Analysis</i>): Critérios de medidas e análises	Suporte	2
06	OPD (<i>Organizational Process Definition</i>): Definição do processo organizacional	Gestão de Processos	3
07	OPF (<i>Organizational Process Focus</i>): Foco no processo organizacional	Gestão de Processos	3
08	OPM (<i>Organizational Performance Management</i>): Gerenciamento de desempenho da organização	Gestão de Processos	5
09	OPP (<i>Organizational Process Performance</i>): Desempenho do processo organizacional	Gestão de Processos	4
10	OT (<i>Organizational Training</i>): Treinamento da organização	Gestão de Processos	3
11	PI (<i>Product Integration</i>): Integração do produto	Engenharia	3
12	PMC (<i>Project Monitoring and Control</i>): Monitoramento e controle do projeto	Gestão de Projetos	2
13	PP (<i>Project Planning</i>): Planejamento do projeto	Gestão de Processos	2

14	PPQA (<i>Process and Product Quality Assurance</i>): Garantia no processo e qualidade do produto	Suporte	2
15	QPM (<i>Quantitative Project Management</i>): Avaliação de desempenho no gerenciamento do projeto	Gestão de Projetos	4
16	RD (<i>Requirements Development</i>): Desenvolvimento de requisitos	Engenharia	3
17	REQM (<i>Requirements Management</i>): Gerenciamento de requisitos	Gestão de Projetos	2
18	RSKM (<i>Risk Management</i>): Gerenciamento de riscos	Gestão de Projetos	3
19	SAM (<i>Supplier Agreement Management</i>): Gerenciamento de contratos com fornecedores	Gestão de Projetos	2
20	TS (<i>Technical Solution</i>): Soluções técnicas	Engenharia	3
21	VAL (<i>Validation</i>): Validação (confirmação)	Engenharia	3
22	VER (<i>Verification</i>): Verificação (comprovação)	Engenharia	3

Fonte: CMMI for Development, Version 1.3 - CMMI-DEV, V1.3
Improving processes for developing better products and services - (2010)

Existe equivalência entre os resultados obtidos na representação contínua e os resultados obtidos na representação gradual. O CMMI-DEV permite que os resultados das áreas de processo obtidos com os níveis de capacidade sejam interpretados pelos níveis de maturidade; isso é possível porque o CMMI-DEV usa o método de avaliação SCAMPI - *Standard CMMI Appraisal Method for Process Improvement* (SEI, 2011; AHERN, 2005). Ainda, em um ‘*assessment*’ podem ser interpretados perfis de níveis de capacidade ou maturidade. Um perfil de nível de capacidade - denominado *achievement profile* (perfil de implementação) – se traduz por uma lista de áreas de processo selecionadas e o nível de capacidade atingido por cada área. Assim como um perfil de nível de maturidade - denominado *target profile* (perfil de objetivos) - representa os objetivos de melhoria dos processos planejados para a organização. A figura 3.27 ilustra a combinação de um perfil *achievement* (*as-is* na área cinza) com um perfil *target* (*to-be* na área não sombreada).

Figura 3.27 – Exemplo de perfis combinados *achievement* e *target*. - Fonte: CMMI-DEV, V1.3 - Improving processes for developing better products and services - (2010).

A Figura 3.28 mostra um resumo dos perfis *target* (perfis de objetivo) que devem ser alcançados quando se usa representação contínua e a equivalência com os níveis de maturidade dois a cinco - repetível (*repeatable*) até otimizado (*optimized*). Cada área sombreada nas colunas dos níveis de capacidade representa um perfil *target* correspondente a um nível de maturidade. Pode-se sumarizar da seguinte forma:

- Para alcançar o nível de maturidade dois, todas as áreas de processos associadas a esse nível devem alcançar o nível de capacidade dois ou três;
- Para alcançar o nível de maturidade três, todas as áreas de processos associadas ao nível de maturidade dois e três devem alcançar o nível de capacidade três;
- Para alcançar o nível de maturidade quatro, todas as áreas de processos associadas ao nível de maturidade dois, três e quatro devem alcançar o nível de capacidade três;
- Para alcançar o nível de maturidade cinco, todas as áreas de processos devem alcançar o nível de capacidade três.

Name	Abbr.	ML	CL1	CL2	CL3
Configuration Management	CM	2	Target Profile 2		
Measurement and Analysis	MA	2			
Project Monitoring and Control	PMC	2			
Project Planning	PP	2			
Process and Product Quality Assurance	PPQA	2			
Requirements Management	REQM	2			
Supplier Agreement Management	SAM	2			
Decision Analysis and Resolution	DAR	3	Target Profile 3		
Integrated Project Management	IPM	3			
Organizational Process Definition	OPD	3			
Organizational Process Focus	OPF	3			
Organizational Training	OT	3			
Product Integration	PI	3			
Requirements Development	RD	3			
Risk Management	RSKM	3			
Technical Solution	TS	3			
Validation	VAL	3			
Verification	VER	3			
Organizational Process Performance	OPP	4	Target Profile 4		
Quantitative Project Management	QPM	4			
Causal Analysis and Resolution	CAR	5	Target Profile 5		
Organizational Performance Management	OPM	5			

Figura 3.28 – Perfis *target* e estágios equivalentes. - Fonte: CMMI-DEV, V1.3 - Improving processes for developing better products and services - (2010).

Em resumo, com base no framework CMMI-DEV e demais CMMIs, a etapa PLM2M Assessment recomenda adotar o conceito de ‘alta maturidade’ (*high maturity*) para uma implementação de PLM e manufatura digital bem estruturada. Normalmente os níveis de maturidade CMMI são obtidos por certificações emitidas pelo CMMI Institute em parceria com o SEI. Para conseguir alta maturidade na representação gradual deve-se atingir os níveis de maturidade quatro (gerenciado) ou cinco (otimizado).

A aquisição do nível de maturidade quatro envolve a implementação de todas as áreas de processo para níveis de maturidade dois, três e quatro e, por equivalência (*equivalent staging*), o nível de capacidade três para todas as áreas de processo exceto OPM

- *Organizational Performance Management* e *CAR - Causal Analysis and Resolution*. Da mesma forma, a aquisição do nível de maturidade cinco envolve a implementação de todas as áreas de processo para níveis de maturidade dois, três, quatro e cinco e, por equivalência, o nível de capacidade três para todas as áreas de processo.

CAPÍTULO 4

MODELO DE REFERÊNCIA PLM2M & RESULTADO DO ESTUDO DE CASO MWM INTERNATIONAL - NAVISTAR

Como resultado das pesquisas, observou-se que o modelo de referência PLM2M cobre todas as áreas e funções relacionadas com o ciclo de vida do produto (PLM). Também, a pesquisa identificou que tais funções do PLM2M, na prática, induzem as empresas a tratar seus fluxos de informações com uma visão mais nítida, mais ampliada e com muito mais rigor - informações mais apuradas, principalmente pelo rearranjo dos fluxos de trabalho impostos pela etapa do PLM2M Assessment com o uso das sugestões de Michael Grieves (2006) ou com o uso do *framework* CMMI-DEV.

4.1 FOCO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Embora a pesquisa se aplique a praticamente todas as indústrias discretas, fica impossível citar exemplos e detalhes para todos os segmentos. A pesquisa se concentra no segmento automotivo para montadoras (OEMs) e fornecedores de primeiro nível (Tiers-1) de partes, peças e sistemas. No contexto da indústria automotiva, Leite et al. (2007) reforçam -

na época - a ideia da transição de uma metodologia mais clássica para uma metodologia mais atual e que ainda perdura em muitas empresas até os dias de hoje. Estão se referindo ao uso da simulação matemática e ao processo de engenharia simultânea. Afirmam que até o final do século 20 era possível encontrar a metodologia clássica nessas empresas que, a partir de então, iniciou-se uma tendência de gerenciamento de programas e desenvolvimento de produtos convivendo juntos nos ambientes da mesma empresa. Foi uma época marcante e de transição na introdução do gerenciamento de portfólio de programas nas empresas automotivas. Menne e Rechs (2002) afirmam que o planejamento do programa é o resultado de um processo de negócio dinâmico e estratégico. Para o lançamento de um novo veículo o programa está baseado na análise das necessidades do usuário, *benchmarking* (comparação do produto com os concorrentes), um processo contínuo de evolução tecnológica, regulamentações e legislações ambientais, e um planejamento de negócios adequado, onde o escopo e a sequência das atividades são governadas.

Carvalho e Rabechini Jr (2011) lembram que um portfólio é uma coleção de projetos e/ou programas. Os projetos ou programas em um portfólio não são necessariamente interdependentes ou diretamente relacionados. As organizações gerem seus portfólios baseadas em objetivos estratégicos, geralmente buscando maximizar o valor, examinando os projetos e programas com vistas à inclusão ou exclusão (PMI, 2004). Um programa é um grupo de projetos relacionados gerenciados de forma coordenada, visando obter benefícios não possíveis de serem obtidos quando gerenciados isoladamente. Como exemplo, o desenvolvimento de um novo modelo de carro (ou de um motor) geralmente constitui um programa, dividido em vários projetos de seus subconjuntos (PMI, 2004). Ainda, um projeto é um processo único, consistindo de um grupo de atividades coordenadas e controladas com datas para início e término, empreendido para alcance de um objetivo conforme requisitos específicos, incluindo limitações de tempo, custo e recursos (ISO 10006, 1997).

Leite et al. (2007) descrevem que as atividades de desenvolvimento de produto são compostas por atividades da engenharia do produto e atividades do planejamento do produto (Figura 4.1). Destacam que, nas indústrias automotivas, as organizações de engenharia do produto foram as mais afetadas pelas mudanças em relação à metodologia clássica e afirmam que as atividades de planejamento do produto - que incluem portfólio de programas - não sofreram progresso, são semelhantes ao do modelo clássico, diferindo somente na maneira de se organizar. Grosso modo, mencionam que nas maiores montadoras a

engenharia do produto está dividida nas atividades de concepção, verificação e experimentação/certificação e que, na prática, essas atividades estão totalmente entrelaçadas e sem uma fronteira delimitada. Já as atividades de planejamento do produto destacam a atenção no planejamento e gerenciamento de programas.

Figura 4.1 – Organização genérica da atividade de desenvolvimento de produto. Fonte: Leite et al. (2007) - Gestão de Projeto do Produto - A Excelência da Indústria Automotiva.

De forma geral, desde a época, o fluxo de atividades necessárias para a realização de um programa completo para a produção de um novo modelo de veículo, ou alteração de um veículo existente, segundo Leite et al. (2007), se apoia nos conceitos gerais de gerenciamento de projetos do PMI (*Project Management Institute*), variando de empresa para empresa. O PMI destaca as melhores práticas no guia PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) que é reconhecido mundialmente como o modelo de referência para gestão de projetos. O PMBOK se concentra em nove áreas de conhecimento (Figura 4.2) e tem como foco central a integração, propósito do modelo PLM2M. Na área do escopo do projeto, a proposta do modelo de referência PLM2M é integrar o planejamento de processos de manufatura ao processo de desenvolvimento do produto (planejamento e engenharia) no conceito de empresa estendida, que leva em consideração a dispersão de recursos e a rede de fornecimento.

Figura 4.2 - Áreas de conhecimento em gerenciamento de projetos. Fonte: Leite et al. (2007) - Gestão de Projeto do Produto - A Excelência da Indústria Automotiva.

Ainda, Carvalho e Rabechini Jr (2011) reforçam a evolução de um paradigma gerencial, com foco na rotina, para um paradigma gerencial com foco na inovação, valorizado pela gestão de projetos na organização. Em outras palavras, de ambientes estáveis, padronizados com atividades repetitivas e estruturas hierárquicas, passando por um processo de transição que releva características como customização em massa, produção e automação flexíveis, pensamento lean, sistemas de gestão e uma visão mais sistêmica, até a atual era da inovação, que destaca a valorização do capital intelectual em uma visão estratégica baseada em recursos; as organizações inovadoras deixam de vender produtos e passam a vender soluções. Kletti, Jürgen (2007) reforça que as fábricas clássicas, onde os produtos são valorizados basicamente pelos seus componentes, têm dado lugar para modernos centros de serviços, que enfrentam um novo desafio de produção: adaptar-se continuamente às demandas de mercado. O reflexo dessa evolução tem resultado em problemas de gerenciamento e decisões, principalmente na rápida adaptação de instalações e variação da capacidade de produção, um problema constante das indústrias automotivas (OEMs e Tiers) e de muitos outros segmentos – percebe-se claramente que a maioria das empresas não está preparada. Carvalho e Rabechini Jr (2011) ainda citam que para lidar com a inovação é preciso valorizar o capital intelectual, construindo as competências e gerindo o conhecimento, sem temer os riscos inerentes e mitigando-os através de um bom gerenciamento de projetos com foco na organização e da construção de redes e parcerias. Um exemplo está na formação de uma rede

de fornecedores (*supply net*) que reúne conhecimentos e recursos dispersos, valores esses considerados, de forma direta, no modelo de referência PLM2M.

4.2 RELAÇÃO MODELO PLM E GESTÃO DE PROGRAMAS

Dentro do escopo da pesquisa, um item muito importante está na relação entre o fluxo das informações (Figura 4.3) representado pelo ciclo de vida do produto (PLM) e as atividades envolvidas em um programa automotivo que, muitas vezes, essas atividades são representadas por um cronograma físico-financeiro nas fases de cotação (solicitada pelos OEMs – clientes da cadeia automotiva) e efetiva de produção.

Figura 4.3 - Visão geral das áreas de cobertura (áreas funcionais) apoiadas pelas iniciativas PLM. Fonte: Artigo CIMdata (PLM - Automation Market Evolution - The PLM Footprint Steps onto the Factory Floor - 2008).

Nesse momento, é essencial entender - grosso modo - o fluxo de atividades necessárias para a realização de um projeto automotivo - o que, quando, como fazer, onde fazer e quem faz. Evidente que o organograma ou estrutura de departamentos depende de cada organização: cultura, estilo gerencial, tamanho, objetivos de mercado, estratégia de

desenvolvimento e visão de longo prazo. Esse fluxo de atividades pode variar tanto em forma como em conteúdo de acordo com os recursos e pode ser traduzido em um programa completo para a produção de um novo modelo de veículo. A Figura 4.4 exemplifica – de forma esquemática – a estrutura de um programa genérico onde a visão macro representa o programa e a visão micro representa as atividades do cronograma desse programa (LEITE et al., 2007).

Figura 4.4 – Macrovisão e microvisão de um programa automotivo. Fonte: Leite et al. (2007) - Gestão de Projeto do Produto - A Excelência da Indústria Automotiva - Adaptado.

De forma simples, Leite et al. (2007) afirmam que um programa pode ser entendido como a realização - com êxito - do conjunto de diferentes projetos necessários para idealizar, projetar, certificar e colocar em produção um novo veículo (ou modificação de parte de um veículo existente). Concluem em comum acordo com Carvalho e Rabechini Jr (2011) - um programa nada mais é do que um agrupamento de projetos que devem ser gerenciados de forma coordenada. Como ilustração, citam que existem metodologias específicas para o gerenciamento do negócio automotivo, sendo a mais famosa a proposta da Toyota (University of Toyota), porém se apoiam em uma visão mais abrangente e mais generalista do PMI/PMBOK. Deve haver uma metodologia sólida de gerenciamento, delimitação do escopo e limites do projeto (Figura 4.5); como exemplo, tais delimitações podem ser traduzidas em

um programa de desenvolvimento de um produto: início (entrada do processo) e término (saída do processo), respectivamente o motivo e o resultado esperados bem definidos.

Figura 4.5 – Delimitação do escopo de um programa automotivo proposta por Expertise Informática (2003).

Fonte: Leite et al. (2007) - Gestão de Projeto do Produto - A Excelência da Indústria Automotiva.

No modelo PLM2M o escopo do projeto é controlado pelo módulo de gerenciamento de projetos, programas e portfólio do Teamcenter dentro de uma abrangência mais ampla de governança que, inclusive, inclui a rede de fornecedores. Leite et al. (2007) destacam que deverão ser fixados escopos muito bem delimitados, não somente para o trabalho de desenvolvimento do produto mas também para os projetos de manufatura e de suprimentos, a exemplo. Complementam, nas montadoras (OEMs) o programa como um todo é composto por vários programas menores intercalados e conectados entre as diversas áreas envolvidas no programa geral – desde o planejamento estratégico até a desativação de ferramentais. Declaram, uma vez entendidos os processos envolvidos no gerenciamento de um programa, deve-se ressaltar a qualidade desses processos representada pela metodologia empregada. Citam inclusive os níveis de maturidade e níveis de capacidade oferecidos pelo CMM/CMMI, com foco nos processos de gerenciamento de projetos, para apoiar o

gerenciamento de portfólio de programas – que coincide com os objetivos do modelo PLM2M.

Se compararmos as atividades envolvidas no modelo PLM do ciclo de vida do produto - exposto por Grieves (2006) e representado pela CIMdata (2008) na Figura 4.3 - com as atividades envolvidas no programa de uma montadora (LEITE et al., 2007), ou no programa de uma fábrica de motores e transmissões (MENNE e RECHS, 2002), o foco principal está na movimentação de recursos com um amplo espectro de conhecimentos e especializações. Nesse sentido, Leite et al. (2007) destacam que a grande arte no gerenciamento de programas dessa envergadura é fazer com que todas as atividades atuem de maneira síncrona e harmônica. Para que isso ocorra, do ponto de vista PMI/PMBOK, as áreas de conhecimento, integração e comunicação favorecem a aplicação do modelo de referência PLM2M. A Figura 4.6 destaca as atividades envolvidas no programa de uma montadora – o que fazer – que representam o escopo do projeto dentro dos objetivos estabelecidos. Na montadora, cada atividade pode ser exercida por uma ou mais unidades da organização, áreas funcionais, fornecedores, colaboradores e prestadores de serviços.

Figura 4.6 – Atividades envolvidas em um programa de uma montadora automotiva (OEM).

Fonte: Leite et al. (2007) - Gestão de Projeto do Produto - A Excelência da Indústria Automotiva.

Menne e Rechs (2002) destacam que o desenvolvimento de um novo motor geralmente está integrado com o programa de desenvolvimento de um veículo (Figura 4.7),

isso porque o veículo como um todo deve seguir requisitos, legislação e, principalmente, a filosofia e prioridades da corporação (OEM). Isso vem de encontro às práticas desenvolvidas pelos fabricantes de motores, o que garante a integridade do programa do motor com o programa do veículo formando um todo. No contexto, o planejamento é o primeiro passo em um programa típico de motor e se estende para outros subsistemas do *power train* como a transmissão. Em comum acordo, OEMs e Tiers determinam pontos chaves de verificação (marcos) para garantir o curso de desenvolvimento e produção (K-A e 9-1) – denominado geralmente como intenção estratégica do programa que, via de regra, tem como ponto de partida o consumo e/ou níveis de emissão de gases.

Figura 4.7 – Atividades envolvidas em um programa do veículo, motor e transmissão. Fonte: The System Integration Process for Accelerated Development. Menne e Rechs (2002).

4.3 MODELO DE REFERÊNCIA PML2M - *FRAMEWORK*

O modelo de colaboração PLM2M para planejamento de processos de manufatura, inspirado por Siller et al. (2009) e dentro da abordagem PLM completa (*'end-to-end'*) que inclui a manufatura digital, supre as necessidades de produtividade da empresa de manufatura estendida EME - *Extended Manufacturing Enterprise* - no sentido de cumprir as exigências necessárias para o alinhamento dos fluxos de trabalho e uma efetiva troca de dados, informações e conhecimento em ambientes corporativos internos e externos (*inter-enterprise*). Enfatizando, a objetivo é - com base no gerenciamento de portfólio de programas - encurtar os ciclos de projeto e produção das empresas de manufatura, em especial, evidenciando a colaboração entre a engenharia de planejamento de processos, clientes, fornecedores, produção, gestão comercial e as áreas de desenvolvimento de produtos.

Em seu aspecto macro representado na Figura 4.8, o modelo PLM2M está sustentado pelas funcionalidades da tecnologia da informação e comunicação (TIC). Tem seu *framework* apoiado nas visões (i) funcional (padrões de comunicação e interoperabilidade em ambientes heterogêneos), (ii) lógica (exigências básicas para o gerenciamento do fluxo de trabalho) e (iii) de aplicação (ferramentas PLM para colaboração). A aplicação do modelo de referência PLM2M requer a etapa PLM2M Assessment, sustentada pelas orientações de Grieves (2006) com base no modelo CMM/CMMI ou com mais rigor utilizando as áreas de processo do *framework* CMMI-DEV para a avaliação de implementação, que normalmente é parcial - aplicada para funções individuais, departamentos e áreas funcionais - e tem início na visão lógica.

Figura 4.8 – Aspecto macro do *framework* de referência PLM2M – Elaborado pelo autor.

O *framework* do modelo PLM2M tem a função de servir de estrutura de referência (*backbone*) - dentro dos conceitos estabelecidos - para as várias opções de aplicação, ferramentas e funcionalidades propostas na pesquisa. Pode atingir funcionalidades específicas ou ser configurado pela combinação de funcionalidades com o principal objetivo de reger o fluxo de controle das aplicações propostas (cadeia de valor). Na prática, o *framework* de referência do modelo colaborativo de produtividade PLM2M auxilia na decisão das aplicações a serem adotadas para a implementação de modelos PLM na manufatura – considerados como subsistemas de aplicação. Vale lembrar que o *framework* PLM2M pode ser modelado para vários ambientes, sempre dentro de um domínio de aplicação ou domínios que se relacionam no contexto de sistemas de produção. O resultado da adoção do *framework* PLM2M está na maior facilidade de detecção de erros, concentração na abstração de soluções, eficiência na resolução dos problemas e otimização de recursos.

4.3.1 PLM2M – *Framework* Visão Funcional

A visão funcional do *framework* PLM2M está totalmente focada nos padrões de comunicação e interoperabilidade das informações dos sistemas de produção em ambientes heterogêneos. Com base nas atividades dos fluxos de processos para cumprir os programas e cronogramas, destaca as funcionalidades dos ambientes colaborativos de manufatura (*supply net*) em relação à gestão de armazenagem de dados, gestão do conhecimento e documentação do produto para as características de fabricação e montagem. Para o tratamento de ambientes heterogêneos, que incluem dados, informações, aplicações e conhecimento, pode-se imaginar um tubo virtual – representado por um ‘*pipeline*’ de serviços de dados, captura e entrega de mensagens (serviços de notificação) – que possibilita a colaboração e comunicação (visualização) no conceito de empresa estendida para relevar todas as áreas e departamentos da empresa, parceiros internos e externos, clientes e fornecedores no conceito global de recursos dispersos. O resultado da pesquisa selecionou o ‘*pipeline*’ PLM XML da Siemens PLM Software como o principal elemento para o compartilhamento de dados e informações do modelo PLM2M e, como consequência, destaca os formatos de dados XT do Parasolid, JT (arquivo leve) e STEP (STEPml, XML STEP) como os principais padrões de serviços do modelo, assim como os ‘*schemas*’, adaptadores (*adapters*) e ferramentas ‘*toolkits*’ para manutenção do ‘Pipeline PLM XML’ - Figura 4.9.

Figura 4.9 – Visão funcional do *framework* PLM2M - Destaca os formatos de dados XT do Parasolid, JT e STEP para padrões de serviços e 'schemas', adaptadores e ferramentas 'toolkits' para manutenção do 'Pipeline PLM XML'. Adaptado pelo autor. Fonte: White Paper Open product lifecycle data sharing using XML - (SIEMENS, 2011).

Deve-se entender o esquema da visão funcional do *framework* PLM2M como ilustrativo e genérico. Cada setor ou departamento da empresa ou grupo de recursos pode implementar seu próprio *pipeline* PLM XML para cumprir as exigências do gerenciamento de portfólio de programas ou subprogramas e, ainda, a organização como um todo evoluir para uma implementação mais global do *pipeline* PLM XML no conceito cPDM - *collaborative Product Definition management* - para suportar ambientes dedicados (*private workspace*).

Como alerta, não se deve confundir o *pipeline* PLM XML com o tratamento de bases de dados de aplicações, a exemplo da integração de sistemas PLM, ERP, MES etc. Normalmente essas aplicações se apoiam em estruturas de dados Oracle ou SQL Server da Microsoft e a integração de dados se dá por camadas proprietárias de tratamento de dados, desenvolvimento de rotinas, *plug-ins* ou interfaces estruturadas em um nível mais pertinente às atividades dos especialistas de TI.

Via de regra, a proposta de um *pipeline* PLM XML é entregar serviços - via Internet - em níveis sem precedentes de interoperabilidade entre aplicações de software PLM e outras (ERP, MES etc.), no sentido de acelerar a execução de processos críticos de negócios para conseguir uma significativa redução de custos e importante vantagem no ‘*time-to-market*’ - tempo de entrega do produto. Em linhas gerais, o *pipeline* PLM XML é um protocolo de comunicação (protocolo de transporte) - na forma de linguagem aberta - que suporta um conjunto de esquemas XML que associam serviços para compartilhar (publicar) dados e conhecimento na abrangência de interoperabilidade, colaboração e integração de informações na empresa estendida (SIEMENS, 2011) – o resultado está na redução do ciclos de projeto e produção.

4.3.2 PLM2M – *Framework* Visão Lógica

Em um contexto mais amplo de modelagem de processos de negócios para a empresa estendida, a visão lógica do *framework* PLM2M (Figura 4.10) cumpre os objetivos de incorporar, para as engenharias de produto e manufatura, ferramentas de gerenciamento do fluxo de trabalho - WfMS/BPM - dentro de uma abrangência de governança de projetos, portfólio de programas e modelos de maturidade. Ao contrário da visão funcional do *framework* PLM2M que selecionou o ‘*pipeline*’ PLM XML da Siemens PLM Software como o principal elemento e que pode ser substituído por arranjos de outros *players* ou por outras arquiteturas diluídas de TI e métodos ágeis, como no caso da solução Autodesk PLM 360 que usa ‘*cloud computing*’ e entrega SaaS - *Software as a Service*, soluções Dassault Systèmes, PTC, SAP, Oracle e outras, a visão lógica do *framework* PLM2M independe da solução de TIC e solução de aplicação PLM adotadas e deve ser rigorosamente cumprida, principalmente

na etapa PLM2M Assessment que avalia, por exemplo, através do *framework* CMMI-DEV, o estado da situação atual ‘*as-is*’ em que se quer implementar o modelo com a situação onde se quer chegar ‘*to-be*’.

Figura 4.10 – Visão lógica do *framework* PLM2M - Cumpre os objetivos de incorporar, para as engenharias de produto e manufatura, ferramentas de gerenciamento do fluxo de trabalho - WfMS/BPM - dentro de uma abrangência de governança de projetos, programas e portfólios e modelos de maturidade. – Elaborado pelo autor.

O resultado está no alinhamento de fluxos de trabalho mal formulados e melhor colaboração entre os departamentos, áreas funcionais, colaboradores internos e

externos (no modelo de empresa estendida), para resolver os problemas de comunicação entre silos de dados existentes ou ilhas de conhecimento.

4.3.3 PLM2M – *Framework* Visão de Aplicação

O modelo de referência PLM2M traz sua visão de aplicação fundamentada principalmente na abrangência da suíte de software Tecnomatix da Siemens PLM Software e aplicações pontuais da suíte Teamcenter como o módulo MPM (*Manufacturing Process Management*), o módulo SRM (*Supplier Relationship Management*) e o módulo, ênfase da pesquisa, PP&PM (*Portfolio, Program & Project Management*) - para tomadas de decisão, entendendo os demais módulos do Teamcenter como aplicações suplementares. Apenas como referência, para completar o *framework* PLM2M, a Tabela 4.1 apresenta o conjunto de soluções da Siemens PLM Software que inclui aplicações CAD, CAE, CAM e PDM – (GAMA, 2011).

Vale ressaltar que o Teamcenter foi a solução de software PLM selecionada pela MWM/Navistar (estudo de caso) para alinhar os fluxos de informação e trabalho, e a solução de software de manufatura digital Tecnomatix, muito em função de estender o PLM para o chão de fábrica, foi a solução de integração digital sugerida para apoiar e complementar as atividades de planejamento e gerenciamento de processos das engenharias de manufatura.

Tabela 4.1 – Conjunto de soluções da Siemens PLM Software

Suítes	Características
Teamcenter	Ambiente PLM nativo WEB para capturar, gerenciar, acessar, integrar e promover diversos tipos de informações de produção,

	as quais incluem as definições e configurações de produto (cPDm), dados de planejamento, dados de engenharia, peças e documentos.
NX	Soluções CAE/CAD/CAM de engenharia de produto; inclui os produtos I-deas NX Series, NX Nastran, Imageware e outros. As soluções trabalham em ambiente digital integrado e possibilitam modelar e validar produtos e seus processos de produção, tudo baseado no compartilhamento do conhecimento através de processos de engenharia digital.
Tecnomatix	Oferece uma abrangente suíte de soluções para o planejamento digital de processos de produção, desde a engenharia de processos (ou engenharia de manufatura), até a execução de chão de fábrica em uma estrutura integrada e interoperável.
Velocity Series	Suíte escalável de soluções PLM focada no ‘ <i>mid-market</i> ’. Entre as soluções estão: o CAM Express (para CAM), o Femap (para CAE), o Solid Edge (para CAD) e o Teamcenter Express (uma versão reduzida do Teamcenter para PDM).

Fonte: Siemens PLM Software (2013).

Para suprir a expectativa de uma gestão controlada de portfólio de programas e projetos (ROI, BI etc.) a partir de aplicações PLM, o propósito da visão de aplicação do *framework* PLM2M (Figura 4.11) inclui exibir a possibilidade de coletar informações de indicadores de desempenho (KPIs etc.) oferecidas pelo módulo PP&PM, a partir da integração do módulo MPM oferecida pelo Teamcenter e as aplicações de planejamento, simulação e validação de processos de produção oferecidas pelo Tecnomatix. O resultado está

em estabelecer um ciclo completo ‘end-to-end’ de aplicações PLM e SRM - *Supplier Relationship Management* - focado nas solicitações de demanda, com base nas atividades de programas e cronogramas - que representam, a exemplo, no caso da Engenharia de Processos de Usinagem (EPU) da MWM International, o ajuste da capacidade de produção de motores com prazos e volumes controlados.

Figura 4.11 – Visão de aplicação do *framework* PLM2M fundamentada na abrangência da suíte de software Tecnomatix da Siemens PLM Software e aplicações pontuais da suíte Teamcenter - Elaborado pelo autor.

4.4 VISÃO AMPLIADA DE APLICAÇÃO PLM2M NA ENGENHARIA DE MANUFATURA

Aqui o principal objetivo é relacionar as atividades de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura com a oferta de aplicações do Tecnomatix para sistemas de produção. Sipper e Bulfin (1997) definem um sistema de produção como o processamento de um conjunto de idéias e materiais para resultar em um produto ou solução com valor agregado. Os sistemas de produção incluem como componentes de seu conjunto de relações, via de regra, produtos, clientes, matéria-prima, fornecedores, processos de transformação, colaboradores diretos e indiretos, e ainda um conjunto de processos dedicados e de apoio, os quais organizam e controlam o sistema como um todo. Esses componentes conduzem a problemas e decisões onde, no contexto do *framework* da visão de aplicação do modelo de referência PLM2M, as ferramentas de manufatura digital do Tecnomatix (Figura 4.12) oferecem cenários de simulação e aplicações de planejamento e gerenciamento de sistemas e processos de manufatura para que tudo possa funcionar corretamente.

Figura 4.12 – Manufatura Digital – Exemplos de aplicação Tecnomatix – Elaborado pelo autor.

De forma simples, Peter Scallan (2003) na Figura 4.13 exibem os ‘*inputs*’, os quais incluem fatores externos, e ‘*outputs*’ envolvidos nos sistemas de manufatura. Afirmam que, na prática, não se consegue total influência ou controle sobre todos os *inputs*, a exemplo de sazonalidades ou pressões sociais. Isso significa que o sistema de manufatura deve ser flexível o suficiente para negociar com as variações de *input*. Neste caso os cenários de simulação do Tecnomatix apresentam-se como excelentes ferramentas para tomadas de decisão, desde novos arranjos de *layouts* em 3D, validação de ergonomia, montagens e robótica, simulação de usinagem, simulação de fluxos, até funções de comissionamento para verificar, inspecionar e testar os componentes físicos (mecânicos e elétricos) do sistema de produção.

Figura 4.13 – Inputs e outputs para um sistema de manufatura – Fonte: Process Planning – The design/manufacture interface – Peter Scallan (2003).

Peter Scallan (2003) ainda reforça que o principal *output* do sistema de manufatura é o produto ou bens manufaturados, os quais podem ser classificados de bens de consumo ou bens de produção, porém chama a atenção para o *output* reputação como um item não tangível e não mensurável. Neste caso as ferramentas de gestão portfólio de programas e projetos do Teamcenter, que levam em consideração o aspecto governança e indicadores de desempenho, sustentam as decisões de risco na questão do *output* reputação.

Em geral, os objetivos de um sistema de produção que incluem linhas, células e outros arranjos para manufatura discreta abrangem funções como o planejamento dos processos de produção, a garantia da qualidade de produtos e processos, a confiabilidade de manutenção da planta, sincronismo com as atividades de operações da gestão industrial, alinhamento com as atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) da engenharia de manufatura, a produção de fato e o controle e gerenciamento da produção.

Peter Scallan (2003) realça as tarefas do planejamento de processos no sentido de identificar de forma clara o fluxo das atividades envolvidas, com especial atenção para o fluxo de informações (dados e conhecimento), especial atenção para uma boa documentação de processos e, principalmente, identificar e descrever o relacionamento entre as funções do planejamento e outras funções de manufatura, que incluem a habilidade de interpretar desenhos de engenharia, conhecimento de materiais, experiência em processos, conhecimento em ferramentas de ajuste (*jig*) e fixação (*fixture*), a habilidade de usar referenciais de dados de usinagem, dados de ferramentas e especial conhecimento em relação aos custos de processos. Todos esses quesitos ampliam a visão de aplicação do modelo de referência PLM2M e podem ser supridos com o uso de ferramentas de software como o Teamcenter e Tecnomatix.

4.5 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO PLM2M – PASSO A PASSO

A metodologia de aplicação - conjunto de regras - sumariza as etapas de implementação do *framework* de referência PLM2M. Recomenda o uso das visões (i) funcional (*pipeline* PLM XML), (ii) lógica (WfMS e BPM) e (iii) de aplicação (Teamcenter e Tecnomatix); chama a atenção para a aplicação do PLM2M Assessment (com início na visão lógica) com a opção de uso do *framework* CMMI-DEV e também para a relação entre o fluxo das informações do modelo PLM do ciclo de vida do produto (GRIEVES, 2006; CIMdata, 2008) e as atividades envolvidas em um programa no contexto da gestão de portfólio (LEITE et al., 2007; MENNE e RECHS, 2002), cujo foco principal está na movimentação de recursos (cronograma físico-financeiro). O esquema da Figura 4.14 traz um ‘passo a passo’ para a implementação do modelo de referência PLM2M de forma estruturada.

Figura 4.14 – Passo a passo para a implementação do modelo de referência PLM2M – Elaborado pelo autor.

4.6 MWM INTERNATIONAL/NAVISTAR – RESULTADO DO ESTUDO DE CASO

No cenário da condução do estudo de caso da MWM International - a partir das exposições oferecidas, entrevistas, coleta de dados e protocolos - a análise da pesquisa identificou a necessidade de colaborar dados de projeto da área de desenvolvimento de produtos (motores) que, no contexto da empresa estendida, recebeu como padronização de PLM (cPDm) o Teamcenter da Siemens PLM, tido como padrão mundial de software de colaboração pela *holding* Navistar International. O Teamcenter está em uso apenas na engenharia de produtos e a proposta é integrar - com base na abordagem PLM e aplicação do modelo de referência PLM2M - os sistemas CAE, CAD/NX, ERP/SAP, o planejamento da manufatura, o gerenciamento do chão de fábrica, a cadeia de fornecedores, a área comercial, que inclui o sistema de vendas, distribuição e CRM, e a participação da área de gerenciamento de portfólio de programas e projetos.

Como análise do estudo de caso, vale relatar que, embora o departamento de desenvolvimento de projetos de motores seja o único grupo que utiliza a abordagem PLM - com a ferramenta Teamcenter, tal abordagem está totalmente subutilizada na forma de um ‘quase’ PDM – *Product Data Management*. Nas avaliações, entre inúmeras situações, o cenário da Figura 4.15, que representa o processo de aprovação de uma CRAD (Controle de Registro e Aprovação de Desenhos), indica que a resposta no ciclo de informações dos ambientes de projeto (APDM, EPPG, Motor Básico etc.) e especificações (SME) está extremamente longa (com um fluxo de aprovação de 20 dias, e às vezes chega até 40 dias); como evidência - isso acontece porque os ciclos do projeto usam informações de ‘*part number*’ provenientes de planilhas Excel, que são inseridas no módulo MM (*Material Management*) do sistema SAP para, depois, de forma manual, serem redigitadas no sistema PLM Teamcenter que, de maneira não integrada, retorna com as informações – novamente redigitadas (de forma manual) para o sistema SAP, tudo dentro de um fluxo de trabalho que, segundo os próprios integrantes dos departamentos de projeto e especificações (SME), discordam do processo em uso em função da morosidade. A conclusão, suportada pelas evidências, é que existem ciclos de projeto muito longos. Percebe-se claramente a necessidade de integração das aplicações do Teamcenter com as aplicações do SAP e principalmente a adoção do modelo PLM2M.

Figura 4.15 – Processo de aprovação de uma CRAD (Controle de Registro e Aprovação de Desenhos). Fonte: Departamento de desenvolvimento de produtos da MWM International - Elaborado pelo autor como processo de análise do estudo de caso.

No escopo da análise e avaliação da integração do Teamcenter com SAP, ficou evidente a necessidade do desenvolvimento de uma aplicação (ferramenta de software) para integração de informações entre os dois sistemas, no sentido de consolidar em uma única fonte de dados os processos pertinentes, para eliminar redundâncias e reduzir o tempo de execução das atividades de engenharia no projeto de motores. Ainda, o processo de integração Teamcenter e SAP, como parte da intenção de adoção do modelo de referência PLM2M, visa eliminar o retrabalho e duplicidade das informações, uma vez que os dados do produto estão sendo cadastrados pela área de especificações (SME) no SAP e pela área de projeto avançado de desenvolvimento de motores (APDM) no Teamcenter. Como exemplo de necessidade futura, a Figura 4.16 traz uma proposta de fluxo (visão lógica) – sugerida pela própria MWM - para alteração da lista de materiais (BOM), que inclui o cadastro do ‘*part number*’, no contexto do controle de registro e aprovação de desenhos (CRAD).

Figura 4.16 – Proposta de alteração da BOM no fluxo de integração Teamcenter e SAP.

Fonte: Departamento de desenvolvimento de produtos da MWM International.

Ainda, no decorrer do estudo de caso, além do recorte das três áreas analisadas (engenharia de produtos APDM, engenharia de especificações SME e engenharia de processos de usinagem EPU), foram realizadas outras análises e avaliações (em outros setores da unidade São Paulo da MWM) e, de fato, constatarem-se vários outros problemas tendo, como principais causas: (i) a falta de colaboração de dados, informações e conhecimento no modelo de empresa estendida (com o uso da abordagem PLM) no (ii) âmbito de fluxos de trabalhos mal formulados em função de sistemas de informação não apropriados para suprir tais necessidades, muito em função (iii) dos domínios de conhecimento do ERP sobrepor as funções (atribuições) do PLM (GRIEVES, 2006).

4.6.1 Visão ampliada do estudo de caso na Engenharia de Processos de Usinagem - EPU

Como linha do tempo de procedimentos, a pesquisa - nas atividades do estudo de caso - avançou no departamento de projeto de motores, incorporou as atividades do departamento de especificações (requisitos/SME), investigou várias áreas funcionais e se estendeu até as atividades do departamento de planejamento de processos de fabricação (EPU), responsável pelas operações de manufatura de usinagem de blocos e cabeçotes de motores. A EPU engloba, além de suas próprias funções, atividades relacionadas com outras áreas da empresa e com fornecedores, a exemplo do processo de ‘cotação’ para a fabricação de lotes de motores solicitada por seus clientes OEMs (fluxograma das atividades de planejamento e execução de processos de usinagem - EPU no Anexo II). De forma objetiva, a entrega dessa cotação (associada ao estudo de viabilidade de negócios EVN) está configurada na forma de uma documentação que inclui um cronograma físico-financeiro – denominado ‘programação de entrega’ – que na prática pode ser associado a um programa menor – conforme Leite et al. (2007) expõe – conectado com outros departamentos.

As atividades envolvidas na programação de entrega (programa menor) podem ser comparadas e interpretadas como as informações do ciclo de vida do produto (PLM) para uso do modelo de referência PLM2M, com base nas aplicações do Teamcenter e Tecnomatix da Siemens PLM Software - uma das principais contribuições da pesquisa. Em outras palavras, a sequência das atividades da ‘programação de entrega’ pode ser gerenciada pelo Teamcenter com a interferência de aplicações específicas do Tecnomatix e aplicações dedicadas em uso na MWM International (o legado). Uma vez a ‘programação de entrega’ aprovada, esta pode ser transformada no ‘programa de produção’, com a vantagem de comparar o planejado com o realizado em tempo real - tudo dentro de informações e fluxos de trabalho absolutamente consistentes.

Vale evidenciar que nem a suíte de software Teamcenter e nem tampouco a suíte de software Tecnomatix estão em uso na Engenharia de Processos de Usinagem (EPU). Aqui o desafio, com a adoção do modelo de referência PLM2M, é passar de um processo totalmente clássico, que retrata uma estrutura de manufatura tradicional, onde a comunicação entre departamentos é feita de forma linear, com rupturas, retrabalho e retroalimentação

constantes (SILLER et. al., 2009), para um cenário de manufatura colaborativa (além da manufatura concorrente), que considera todos os estágios do ciclo de vida do produto no modelo de empresa estendida, para todos os aspectos de solicitação de demanda.

4.6.2 Diagnóstico – Avaliação do caso

Como diagnóstico geral, o estudo de caso reforça, na MWM International, a necessidade de implementação do modelo de referência PLM2M para um projeto de PLM bem estruturado com foco na ‘colaboração e interoperabilidade’ das informações, principalmente para encurtar os ciclos de projeto e produção e relevar a conciliação dos vários formatos de dados, bases de dados inconsistentes e interfaces de usuários mal exploradas. Embora a pesquisa tenha se concentrado nas atividades da planta de Santo Amaro da MWM International (em São Paulo) para os departamentos de projeto de motores (APDM, EPPG, Motor Básico etc.), especificações (requisitos/SME) e planejamento de processos de fabricação (EPU), entendeu-se que o *framework* PLM2M pode ser aplicado em outras unidades de trabalho (outras plantas) ou áreas funcionais interligadas como engenharia avançada, engenharia de qualidade, chão de fábrica, atividades de gestão comercial e outras, além da rede de fornecedores (*supply net*).

A MWM International São Paulo, principalmente a Engenharia de Processos de Usinagem (EPU), entendeu como replicação do estudo que, seguindo o ‘passo a passo’ de implementação do modelo colaborativo PLM2M para planejamento e gerenciamento de processos de manufatura, existe a necessidade da avaliação do estado atual (*‘as-is’*) com a aplicação da etapa inicial PLM2M Assessment/CMMI-DEV, para refletir - em uma visão mais efetiva - o estado ‘onde se quer chegar’ (*‘to-be’*), para a aplicação do modelo de referência PLM2M. A intenção é melhorar o atual estado da tecnologia, melhorar o atual estado dos processos, eliminar gargalos de dados, informações e bases de conhecimento, e alinhar fluxos de trabalhos mal resolvidos e mal explorados. A EPU entendeu também que a visão lógica do *framework* PLM2M de fluxo de processos e informações pode ser considerada um direcionador (*driver*) na habilidade de criar valor para a organização, no sentido de

redução de custos, melhoria de qualidade e menor tempo de colocação de produtos no mercado.

Ainda, com base nas atividades dos fluxos de processos para cumprir os programas e cronogramas e no contexto da visão funcional do modelo PLM2M, que está focada nos padrões de comunicação e interoperabilidade para ambientes heterogêneos, a EPU/MWM identificou o ‘*pipeline*’ PLM XML (tubo virtual) da Siemens PLM Software como o principal elemento para compartilhar informações, dados e conhecimento. Entendeu o ‘*pipeline*’ PLM XML como um facilitador nos serviços de dados, captura e entrega de mensagens entre os vários padrões e formatos utilizados na MWM, como XT do Parasolid, JT e STEP, nos processos de desenvolvimento de produtos e planejamento da manufatura, para as características de fabricação e montagem.

A Figura 4.17 traz a idéia de como o tubo virtual do ‘*pipeline* PLM XML’ se comporta em relação à infraestrutura de TI, que releva dados de produto, dados de recursos, dados de processos e dados da planta, nos processos de manufatura.

Figura 4.17 – Conexão entre dados de produto, de recursos, de processos e dados da planta.

Fonte: ARC White Paper – Siemens PLM Software Integrates Product, Process, and Quality Assurance with Dimensional Planning & Validation (2007).

Na MWM International em geral, ainda como avaliação do estudo de caso, a visão de aplicação do modelo de referência PLM2M trouxe à tona o entendimento da abrangência das suítes de software Teamcenter e Tecnomatix da Siemens PLM Software para todas as áreas envolvidas. Nos ambientes de projeto, que envolve as várias engenharias de produto (APDM, EPPG, Motor Básico etc.), engenharia de especificações (SME) e outras, a

visão de aplicação PLM2M reformulou a maneira de interpretar as aplicações do Teamcenter, assim como sua interface com o ERP/SAP e outros sistemas da empresa. Na engenharia de processos de usinagem (EPU), ficou visível a necessidade de aplicações do Teamcenter (PLM), principalmente do módulo MPM - *Manufacturing Process Management* - para gerenciar os processos de manufatura e, em conjunto, as aplicações do Tecnomatix para funções de manufatura e fábrica digital (cenários de simulação), principalmente para cumprir as características das atividades dos cronogramas de cotação e cronogramas detalhados para a produção.

No contexto geral da MWM em relação ao Teamcenter, também foram identificadas as aplicações do módulo SRM - *Supplier Relationship Management*, para um tratamento mais efetivo com os fornecedores, assim como do módulo PP&PM - *Portfolio, Program & Project Management*, para uma efetiva configuração no gerenciamento de portfólio de programas e projetos. Vale lembrar que o Teamcenter está presente na MWM (solução selecionada pela Navistar) e a seleção do Tecnomatix foi sugerida - como parte da ação do estudo de caso - como a solução de software de manufatura digital (para planejamento de processos e cenários de simulação), com o objetivo de estender as funções do PLM para o chão de fábrica. O resultado está em estabelecer um ciclo completo ‘*end-to-end*’ de aplicações PLM e SRM focado nas solicitações de demanda, com base nas atividades de programas e cronogramas que, no caso da MWM/SP e todas as outras unidades, cumpre para todas as áreas funcionais os requisitos do gerenciamento do ciclo de vida de produtos (PLM) para a produção de motores.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Este capítulo se preocupa em sumarizar as características e contribuições do modelo colaborativo de produtividade PLM2M para o planejamento e gerenciamento de processos de manufatura, lições aprendidas, recomendações, trabalhos futuros e, de forma prática, concluir a resposta da pesquisa para a pergunta: - **O modelo de referência PLM2M de fato melhora a colaboração das informações e encurta os ciclos de projeto e produção nas empresas de manufatura?**

5.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E CONTRIBUIÇÕES DO MODELO PLM2M

Como evidência dos cenários expostos, revisão de bases científicas, senso de mercado e aplicação do estudo de caso na MWM International (planta de São Paulo), uma das maiores contribuições do modelo de referência PLM2M está na integração das áreas que participam do processo de manufatura - integração de processos técnicos de desenvolvimento de produtos e planejamento de processos de manufatura, planejamento e gerenciamento do chão de fábrica e processos de gestão comercial (Figura 5.1).

Figura 5.1 – O modelo PLM2M tem como contribuição a integração das áreas que participam do processo de manufatura – Elaborado pelo autor.

Exemplos visíveis dessa contribuição estão na integração de ferramentas de projeto de produtos, projeto de fábricas, ferramentas de planejamento e validação de peças e montagens, ferramentas de ergonomia, robótica, fluxo de materiais, ferramentas de gerenciamento de qualidade etc. Essa integração, com base em ambientes de negócios dirigidos a PLM, contribui para a melhoria de produtividade, aumento da taxa de inovação, colaboração e qualidade nos processos, na obrigação de criar valor para a organização e, principalmente, na redução dos ciclos de projeto e produção das empresas de manufatura.

Ainda, vale destacar outras duas importantes contribuições em relação ao modelo de referência PLM2M: (i) o uso do PLM2M Assessment/CMMI como direcionador (*driver*) nos processos de avaliação sistemática (*assessment*) para identificar o atual nível de maturidade das empresas e grupos funcionais em relação ao uso do PLM e Manufatura Digital - entendendo que a avaliação sistemática induz à modelagem de processos de negócios para decisões de investimentos e também na definição do '*roadmap*' (mapa de fluxo) para a implementação do PLM e Manufatura Digital de forma correta; (ii) evidência na relação entre o fluxo das informações representado pelo ciclo de vida do produto (modelo PLM) e as atividades envolvidas em um programa (no contexto do gerenciamento de portfólio) representadas, muitas vezes, por um cronograma físico-financeiro para a movimentação de

recursos. A Tabela 5.1 resume as principais características e contribuições do modelo colaborativo de produtividade PLM2M - PLM *to Manufacturing*.

Tabela 5.1 – Principais características e contribuições do modelo PLM2M

ITEM	CARACTERÍSTICAS E CONTRIBUIÇÕES
01	Trabalha no modelo de empresa estendida - para que a organização como um todo, colaboradores, fornecedores e clientes operem de forma integrada dentro de um cenário global de colaboração;
02	Resolve o problema de interface (conexão) entre as áreas funcionais de engenharia (produto, manufatura etc.), os ambientes de produção e os ambientes de operações comerciais, principalmente no fluxo de trabalho, na precisão do compartilhamento de dados e informações e na transferência do conhecimento;
03	Proporciona atividades colaborativas de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura para ambientes complexos e dispersos - oferece ajuste de capacidade de produção e melhor reuso dos ativos da planta;
04	Suporta, para as atividades de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura, as iniciativas da Manufatura Digital do PLM (<i>Product Lifecycle Management</i>), que envolve processos de modelagem, cenários de simulação, análises e integração digital - as atividades de planejamento de processos de manufatura são consideradas o elo entre o desenvolvimento de produtos, o gerenciamento de chão de fábrica e o planejamento e controle da produção;
05	Proporciona melhores ' <i>time-to-market</i> ' de produtos - para cenários onde os processos de manufatura impõem alta flexibilidade, confiança e menores prazos de entrega, ampla combinação de variantes e menores ciclos de vida de produtos;
06	Engaja a gestão de portfólio de programas no gerenciamento do ciclo de vida de produtos (PLM) - dentro de um ' <i>framework</i> ' de critérios de desempenho de projeto de produtos;
07	Propõem conceitos mais amplos de vantagem competitiva para a gestão da cadeia de fornecimento SCM (<i>Supply Chain Management</i>);
08	Garante a integração das atividades de planejamento de processos de manufatura a um cenário mais abrangente de colaboração de aplicações de TI (Tecnologia da Informação).

Fonte: Elaborada pelo autor – Gama (2014)

No sentido de compreender as principais características e contribuições do modelo de referência PLM2M, alguns fundamentos devem estar claros: (i) a conceituação de ambientes colaborativos de manufatura, que realça a diferença entre manufatura clássica, engenharia simultânea e manufatura digital; (ii) o conceito de cPDm - *collaborative Product Definition management* - para colaborar as definições do produto ao longo de seu ciclo de vida; (iii) a conceituação de planejamento integrado de processos colaborativos (integração digital); (iv) a conceituação de empresa estendida e rede de fornecimento nos conceitos *supply chain* e *supply net*; (v) ter clara a visão de gerenciamento de portfólio de programas e projetos (PMI/PMBOK); (vi) ter clara a visão de aplicação de ferramentas PLM para colaboração - suítes de software Teamcenter e Tecnomatix da Siemens PLM Software; (vii) ter bem definido o cenário de infraestrutura de TIC - Tecnologia da Informação e Comunicação - para troca de dados, informações e conhecimento, que envolve padrões de comunicação e interoperabilidade em ambientes heterogêneos (PLM XML); e (viii) ter bem fundamentado os elementos necessários para o gerenciamento do fluxo de trabalho (WfMS) e para o gerenciamento de processos de negócios (BPM).

5.2 LIÇÕES APRENDIDAS

São várias as lições aprendidas no decorrer do trabalho, a principal delas está em identificar as reais oportunidades que as abordagens PLM e Manufatura Digital oferecem em relação à engenharia simultânea e a manufatura clássica. Na pesquisa, ficou evidente que tanto a engenharia simultânea como a manufatura clássica, mais tradicional, ocasionam longos ciclos de projeto e produção e não oferecem uma gestão de dados e processos adequada para os objetivos atuais das empresas de manufatura, no contexto de menores ‘*time-to-market*’ de produtos. A engenharia simultânea e a manufatura clássica não favorecem a colaboração adequada entre ilhas de conhecimento e silos de dados, assim como não favorecem a solução de problemas de alinhamento de fluxos de trabalho para ganho de produtividade e ajuste da capacidade de produção, com o mesmo desempenho que a abordagem PLM proporciona, por encurtar os ciclos de projeto e produção.

Outra lição aprendida, está em adotar um modelo de referência para a implementação da abordagem PLM. A abordagem PLM, como processo de negócios, não deve ser implementada de forma alienada, sem que sejam planejados e considerados todos os elementos. Na prática, se observa que existe um ‘*gap*’ (uma lacuna) entre a entrega das soluções PLM pelos ‘*players*’ de mercado (os fabricantes das soluções) e o correto uso dessas soluções pelo mercado usuário (a indústria). Como observação, a mesma solução PLM cria valores diferentes para indústrias do mesmo setor, principalmente pela cultura de implementação e cultura da organização - refletida na mente das pessoas. Como citado por Grieves (2006), é muito comum considerar o PLM puramente como um elemento de tecnologia da informação (TI), sem que haja processos bem estruturados em fluxos de trabalho. A maioria das empresas implementa o PLM com práticas inconsistentes, informações redundantes, pessoas não qualificadas, sem o mínimo esforço de transformar essas práticas em processos eficientes.

No contexto, o *framework* do modelo PLM2M - com o apoio das visões funcional, lógica e de aplicação - tem o papel abrangente de integrar pessoas, dados, processos e sistemas de negócios dentro de uma estrutura centralizada de informações do produto e fluxos de processo de forma colaborativa para todas as áreas - internas e externas - no conceito de empresa estendida.

5.3 VISÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Existem inúmeras oportunidades de trabalhos futuros para gerar conhecimento, tanto na linha de pesquisas científicas quanto na linha do senso comum. É importante entender a visão de estender o PLM para o chão de fábrica, que significa integrar as atividades de planejamento e gerenciamento de processos de manufatura em um contexto mais amplo do cenário de colaboração de TI. Outras pesquisas com base em PLM e Manufatura Digital podem ajudar empresas e profissionais a identificar mudanças nos ambientes de manufatura para ganho de produtividade e eficiência operacional, no sentido de melhorar as informações relacionadas a produtos, processos e capacidade, velocidade de entrega e flexibilidade de produção.

Dentro do cenário de 'novas visões do mundo da manufatura', o PLM e a Manufatura Digital se relacionam com a maioria de outros sistemas dedicados à indústria. Pode-se citar alguns exemplos de trabalhos futuros relacionados à integração do PLM e Manufatura Digital com sistemas ERP, PCP, sistemas de planejamento avançado APS, sistemas S&OP e sistemas MES/MOM. Ainda, pode-se ampliar o leque de trabalhos futuros no sentido de integrar a abordagem PLM às necessidades de gerenciar redes e cadeias de suprimentos mais complexas, ou cenários que exigem novas capacidades de simulação e temas atuais como convergência TI/TA, Indústria 4.0 (CPPS - *Cyber Physical Production Systems*), sustentabilidade, *cloud manufacturing*, novas arquiteturas de TI, entrega SaaS, mobilidade, RFID e *wireless*, tecnologias semânticas e armazenamento inteligente de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUR, N., KANDEMIR, D., WEERD-NEDERHOF, P. C., SONG, M. “Exploring the Impact of Technological Competence Development on Speed and NPD Program Performance”, Product Innovation Management, 2009.

ARC ADVISORY GROUP. Siemens PLM Software Integrates Product, Process, and Quality Assurance with Dimensional Planning & Validation. Dedham, MA: White-paper ARC Advisory Group, 2007.

AZIZ, H; GAO, J; MAROPOULOS, P; et al. Open standard, open source and peer-to-peer tools and methods for collaborative product development. Computers in Industry. Volume 56, edição 3, páginas 260-271, 2005.

BARBIERI, C. BI2 – Business Intelligence – Modelagem & Qualidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BORDI, S., BICCINI, A., MASSIMILIANO M., SCHIRALDI, M.M., “A conceptual framework to develop assessment models for PLM implementation projects”. International Conference on Product Lifecycle Management, Eindhoven (The Netherlands), 2011.

BOSH-MAUCHAND, M.; BELKADI, F.; BRICOGNE, M.; EYNARD, B. Knowledge-based assessment of manufacturing process performance: integration of product lifecycle management and value chain simulation approaches, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2012.

BURKETT, W. C. Product data markup language: a new paradigm for product data exchange and integration. *Computer-Aided Design*. Volume 33, páginas 489–500, 2001.

CAGLIANO, R.; CANIATO, F.; CORSO, M.; SPINA, G. Collaborative improvement in the extended manufacturing enterprise: lessons from an action research process, *Production Planning & Control*, 2005.

CARVALHO, M. M.; RABECHINI JR, R. Fundamentos em Gestão de Projetos: Construindo Competências para Gerenciar Projetos. 3a Edição. São Paulo: Atlas, 2011.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. Adoção do estudo de caso na engenharia de produção. *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*, capítulo 6, páginas 129-143. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CHEN, H. H.; KANG, H. Y.; XING, X.; et al. Developing new products with knowledge management methods and process development management in a network. *Computers in Industry*. Volume 59, edição 2-3, páginas 242-253, 2008.

CHILDE, S. J. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, *Production Planning & Control*, 1998.

CHOI, S. S.; YOON, T. H.; DO NOH, S. XML-based neutral file and PLM integrator for PPR information exchange between heterogeneous PLM systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. Volume 23, edição 3, páginas 216-228. número do artigo PII 919388411, 2010.

CHRYSSOLOURIS, G. et al. *Digital Manufacturing: history, perspectives , and outlook*. *Journal of Engineering Manufacture*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2009.

CIMDATA, INC. Catalysts: Accelerating PLM Value – CIMdata Commentary. Disponível em <<https://www.cimdata.com/en/resources/complimentary-reports-research/commentaries/item/160-catalysts-accelerating-plm-value-commentary>>. Acesso em janeiro de 2014.

CIMDATA, INC. Dassault Systèmes V6 Plattform TCO. Ann Arbor, MI: White-paper CIMdata, 2010.

CIMDATA, INC. Global Leaders in PLM Consulting. Disponível em: <http://www.cimdata.com/plm/solution_suppliers/digital_manufacturing.html>. Acesso em fevereiro de 2010.

CIMDATA, INC. Teamcenter Express – Rapid cPDM deployment for mid-sized manufacturing companies. 2009. Disponível em <http://www.cimdata.com/en/component/docman/search_result?search_phrase=Teamcenter+express+rapid+cplm+deployment&catid=47&ordering=newest&search_mode=all>. Acesso em maio de 2012.

CMMI INSTITUTE. CMMI for Acquisition, Version 1.3. Technical Report, Carnegie Mellon University, SEI Administrative Agent, Hanscom AFB, Massachusetts, 2010.

CMMI INSTITUTE. CMMI for Development, Version 1.3. Technical Report, Carnegie Mellon University, SEI Administrative Agent, Hanscom AFB, Massachusetts, 2010.

CMMI INSTITUTE. CMMI for Services, Version 1.3. Technical Report, Carnegie Mellon University, SEI Administrative Agent, Hanscom AFB, Massachusetts, 2010.

COOPER, R.G., Winning at New Products, Accelerating the Process from Idea to Launch. Cambridge, MA: Perseus Books, 2001.

CÔRTEZ, M. L. CMM – Capability Maturity Model. INF310 - Modelos de Qualidade de SW - IC-UNICAMP, 1998.

COZE, Y. et al. Virtual Concept > Real Profit with Digital Manufacturing and Simulation. Dassault Systèmes and SOGETI High Tech. France, 2009. Disponível em: <<http://www.3ds.com>>. Acesso em abril de 2010.

CURTIS, B.; HELFEY, W.E.; MILLER, S.A. People Capability Maturity Model (P-CMM) Version 2.0. Technical Report, Carnegie Mellon University, SEI Administrative Agent, Hanscom AFB, Massachusetts, 2001.

DANILEVICZ, A. M. F.; RIBEIRO, J. L.D. Um modelo quantitativo para a gestão da inovação em portfólio de produtos - A quantitative model for innovation management in product portfolio. *Gestão & Produção*. Volume 20, edição 1, páginas 59-75, 2013.

DENKANA, B.; SHPITALNI, M.; KOWALSKI, P.; et al. Knowledge management in process planning. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. Volume 56, edição 1, páginas 175-180, 2007.

EASTHAM, J.; TUCKER, D. J.; VARMA, S.; et al. PLM Software Selection Model for Project Management Using Hierarchical Decision Modeling With Criteria From PMBOK Knowledge Areas. *EMJ – Engineering Management Journal*. Volume 26, edição 3, páginas 13-24, 2014.

FLEURY, A. Planejamento do projeto de pesquisa e definição do modelo teórico. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

FOLAN, P.; HIGGINS, P.; BROWNE, J. A communications framework for extended enterprise performance measurement, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2006.

GAMA, E. B., Benefícios obtidos na colaboração entre sistemas MES e sistemas de manufatura digital do PLM - Diagnóstico. Dissertação de Mestrado. São Carlos: UFSCar, 2011.

GONG, P.; YANG, C.; SHI, D. Heterogeneous ££. *Proceedings of the 11th International Conference on Computer Supported Cooperative Works in Design*, 26-28 abril 2007, Melbourne, páginas 951–955, 2007.

GORDON, L. XML for the digital factory. *Revista Machine Design*, edição novembro, 2007.

GRIEVES, M. Product Lifecycle Management – Driving the next Generation of Lean Thinking. New York: McGraw-Hill, 2006.

GRIEVES, M. Virtually Perfect. Flórida: Space Coast Press, 2011.

HORTA, L. C., ROZENFELD, H., “CAPP (Computer Aided Process Planning)” – NUMA – Núcleo de Manufatura Avançada. São Carlos: DEP-EESC/USP, 1999.

HORVATH, L.; RUDAS, I. J. Active Knowledge for the Situation-driven Control of Product Definition. Acta Polytechnica Hungarica, Budapest. Volume 10, edição 2, edição especial SI, páginas 217-234, 2013.

HU, C.; XU, C. Template-Based Integrated Design Environment for Rocket Design. Advanced Science Letters. Volume 4, edição 8-10, páginas 3187-3192, 2011.

JESTON, J.; NELIS, J. Business Process Management – Practical Guidelines to Successful Implementations. Oxford, UK: Elsevier, 2008.

JUN, H. B.; KIRISTIS, D.; XIROUCHAKIS, P. Research issues on closed-loop PLM Computers in Industry. Volume 58, edição 8-9, páginas 855-868, 2007.

JUN, H. B.; SHIN, J. H.; KIM, Y. S.; et al. A framework for RFID applications in product lifecycle management. International Journal of Computer Integrated manufacturing. Volume 22, edição 7, páginas 595-615, 2009.

KARKKAINEN, H.; MYLLARNIEMIA, J.; OKKONEN, J.; SILVENTOINEN, A. Assessing maturity requirements for implementing and using product lifecycle management. The 9th International Conference on Electronic Business, Macau, 2009.

KLETTI, J. Manufacturing Execution System (MES). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

KELLY, K. M. The importance of MES-PLM integration.(UGS Inc. deploys 'Project Archimedes')(General Motors uses Global Repeatable Digital Validation system)(Editorial). Article from: Automotive Design & Production. Farmington Hills, MI: Thomson Gale, 2007.

KESTER, L., GRIFFIN, A., HULTINK, E. J., LAUCHE, K. Exploring Portfolio Decision-Making Processes. Product Information Management, 2011.

KIRITSIS, D.; BUFARDI, A; XIROUCHAKIS, P. Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems. Advanced Engineering Informatics. Volume 17, edição 3-4, páginas: 189-202, 2003.

KIRITSIS, D. Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things. *Computer-Aided Design*. Volume 43, edição 5, edição especial SI, páginas 479-501, 2011.

LEITE, H. A. R. et al. Gestão de projeto do produto – A excelência da indústria automotiva, São Paulo, editora Atlas, 2007.

LEE, Y. C.; SHWU, L. C.; TSOU, Y. G. Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: An application in PLM system. *Computers & Industrial Engineering*. Volume 55, edição 1, páginas 48-63, 2008.

LEE, S. G.; MA, Y. S.; THIMM, G. L.; et al. Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. *Computers in Industry*. Volume 59, edição 2-3, páginas 296-303, 2008.

LILLEHAGEN, F.; KARLSEN, D. Visual extended enterprise engineering and operation-embedding knowledge management and work execution, *Production Planning & Control*, 2001.

LÓPEZ-ORTEGA, O.; CRUZ, K. L. A communication protocol among agents for exchanging data in the extended enterprise, Springer-Verlag London Limited, 2010.

LU, Y., PANETTO, H., NI, Y., GU, X. Ontology Alignment for Networked Enterprise Information System Interoperability in Supply Chain Environment. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26:1-2, 140-151, 2012. DOI: 10.1080/0951192X.2012.681917

MAHESH, M.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C. A web-based multi-agent system for distributed digital manufacturing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2006.

MARTIN, A. Dynamic Business Process Management (BPM) from IBM. Somers, NY: IBM Corporation, 2009.

MARTINEZ-LASTRA, J. L., INSARRALDE, C., COLOMBO, A. Agent-based Control for Desktop Assembly Factories. London: Springer Verlag London Ltd., 2009.

MARTINS, R. A. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações - Abordagens Quantitativa e Qualitativa, capítulo 3, páginas 45-61, Elsevier Editora, Rio de Janeiro, 2010.

MATSOKIS, A.; KIRITSIS, D. An ontology-based approach for Product Lifecycle Management. *Computers in Industry*. Volume 61, edição 8, edição especial SI, páginas 787-797, 2010.

MAYER, P.; PLAPP, J. Extending PLM to the Shop Floor. Eagan, MN: White-paper Intercim, 2008. Disponível em: < <http://www.intercim.com> >

MEDEIROS, R. F. S. Modelo de Capabilidade da Maturidade – Capability Maturity Model. Universidade Gama Filho, 2011.

MENNE, R.J., RECHS, M.N. The System Integration Process for Accelerated Development. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc, 2002.

MESA INTERNATIONAL – Manufacturing Enterprise Solutions Association. Product Lifecycle Management (PLM) Strategic Initiative Guidebook, 2008. Disponível em: < <https://services.mesa.org/ResourceLibrary> >. Acesso em fevereiro de 2010.

MING, X.G.; YAN, J.Q.; LU, W.F.; et al. Technology solutions for collaborative product lifecycle management - Status review and future trend. *Concurrent Engineering-Research and Applications*. Volume 13, edição 4, páginas 311-319, 2005.

MING, X.G., YAN, J.Q., WANG, X.H., LI, S.N., LU, W.F., PENG, Q.J. and MA, Y.S., 2008, “Collaborative process planning and manufacturing in product lifecycle management,” *Computers in Industry*, 59, pp. 154-166.

PEAK, R. S.; LUBELL, J.; SRINIVASAN, V.; et al. STEP, XML, and UML: Complementary technologies. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. Volume 4, edição 4, páginas 379-390, 2004.

PHILLIPS, M.; SHRUM, S. Which CMMI Model is for you? CMMI Institute Technical Report, Carnegie Mellon University, SEI Administrative Agent, Hanscom AFB, Massachusetts, 2011.

PMI, A Guide to the Project management Body of Knowledge, 4th ed. Project Management Institute, Newtown Square, PA. 2008.

PRASAD, S., TATA, J., Publication patterns concerning the role of teams/groups in the information systems literature from 1990 to 1999, *Information & Management*, 2005.

PROCESSIA SOLUTIONS. Business PLM Assessment Service. 2011. Disponível em <<http://www.processia.com/business-plm-assessment-service>>, acesso em maio de 2014.

RACHURI, S.; SUBRAHMANIAN, E.; BOURAS, A.; et al. Information sharing and exchange in the context of product lifecycle management: Role of standards. *Computer-Aided Design*. Volume 40, edição 7, edição especial SI, páginas 789-800, 2008.

RANGAN, R.M.; ROHDE, S.M.; PEAK, R.; et al. Streamlining product lifecycle processes: a survey of product lifecycle management implementations, directions, and challenges. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. Volume 5, edição 3, páginas 227-237, 2005.

ROY, J.; RAMANUJAN, A. XML schema language: taking XML to the next level. *Revista IT Pro*, março/abril, 2001.

SAAKSVUORI, A.; IMMONEN, A. *Product Lifecycle Management*. Berlin: Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

SCALLAN, P. *Process Planning – The design/manufacturing interface* – Oxford, UK: Butterworth Heinemann, 2003.

SCHLENOFF, C.; GRUNINGER, M. *The Process Specification Language (PSL) Overview and Version 1.0 Specification*, 2001. Disponível em <<http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/doc/nistir6459.pdf>>. Acesso em 28 de outubro de 2009.

SCHUH, G. ; ROZENFELD, H.; ASSMUS, D.; et al. Process oriented framework to support PLM implementation. *Computers in Industry*. Volume 59, edição 2-3, páginas 210-218, 2008.

SEIXAS FILHO, C. Atualização - ISA S-95 - Framework para uma Manufatura Flexível. *Revista InTech América do Sul*, número 79. São Paulo: ISA – Distrito 4, 2006.

SHARMA, A. Collaborative product innovation: integrating elements of CPI via PLM framework. *Computer-Aided Design*. Volume 37, edição 13, páginas: 1425-1434, 2005.

SHOAF, S. *IBM PLM: Build new markets*. IBM PLM Solutions, 2001. Disponível em <<http://www.ibm.com/software/plm>>. Acesso em 20 de junho de 2007.

SIEMENS PLM SOFTWARE. Cinco etapas para criar um portfólio de produtos vencedor - A importância estratégica do gerenciamento de portfólio, 2010. Disponível em: <http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/library.shtml>. Acesso em junho de 2010.

SIEMENS PLM SOFTWARE. Comprehensive integration: process and product. White-paper, 2009. Disponível em <http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/about_us/success/case_study.cfm?Component=85386&ComponentTemplate=1481>. Acesso em dezembro de 2012.

SIEMENS PLM SOFTWARE. CXOs: Meet your new core competency - digital manufacturing white-paper. Disponível em: <http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/library.shtml>. Acesso em maio de 2010.

SIEMENS PLM SOFTWARE. JT Open - Community for JT Open participants, 2013. Disponível em <http://m.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/2949_tcm1224-7642.pdf>.

SIEMENS PLM SOFTWARE. Portfolio management for the product lifecycle - white-paper, 2009. Disponível em: <http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/teamcenter/library.shtml>. Acesso em outubro de 2011.

SIEMENS PLM SOFTWARE. Open product lifecycle data sharing using XML – white-paper, 2011. Disponível em <http://m.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/Siemens-PLM-Open-Product-Lifecycle-Data-Sharing-Using-XML-wp_tcm1224-11521.pdf>.

SIEMENS PLM SOFTWARE. Portfolio, program and project management – white-paper, 2011. Disponível em <http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/Images/9681_tcm882-4810.pdf>. Acesso em setembro de 2013.

SIEMENS PLM SOFTWARE. Teamcenter integration for SAP - white-paper, 2011. Disponível em <http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/Images/7528_tcm882-79833.pdf>. Acesso em março de 2012.

SIEMENS PLM SOFTWARE. Teamcenter Application and Data Model Administration - Student Guide. Teamcenter 8.3, Publication number MT25460-S-0830, 2010.

SIEMENS PLM SOFTWARE. Using Teamcenter - Student Guide. Teamcenter 8.3, Publication number MT25150-S-0830, 2010.

SILLER, H. R., ESTRUCH, A., VILA, C., ABELLAN, J. V., ROMERO, F. Modeling workflow activities for collaborative process planning with product lifecycle management tools. Springer, 2009.

SILVENTOINEN, A.; PELS, H. J.; KARKKAINEN, H.; LAMPELA, H. Towards future PLM maturity assessment dimensions. PLM11 - 8th International Conference on Product Lifecycle Management, 2011.

SMITH, H.; FINGAR, P. Business Process Management: The Third Wave. Tampa, FL: Meghan-Kiffer Press, 2006.

STARK, J. Product Lifecycle Management - 21st Century paradigm for product realisation. London: Springer Verlag London Ltd., 2005.

SUBRAHMANIAN, E.; RACHURI, S.; FENVES, S.J.; FOUFOU, S.; SIRIAM, R.D. Product lifecycle management support: a challenge in supporting product design and manufacturing in a networked economy. International Journal of Product Lifecycle Management, 1, pp. 4-25, 2005.

SUDARSAN, R; FENVES, S.J.; SRIRAM, R. D.; et al. A product information modeling framework for product lifecycle management. Computer-Aided Design, Volume 37, edição 13, páginas 1399-1411, 2005.

TAHARA, S.; ROZENFELD, H. “Gestão de Portfólio de Projetos” – disponível em <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/9466#eztoc114141_3>. Acesso em janeiro de 2012.

T-SYSTEMS DO BRASIL. Apostila de Treinamento CAPP e PQ - Product Quality. Versão 1.7 de 23 de dezembro de 2008.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Pesquisa-ação na Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

VAN DER HAMER, P.; LEPOETER, K. Managing design data: the five dimensions of CAD frameworks, configuration management and product data management. In Proceedings of the IEEE, 84, pp 42-56, 1996.

VENKATASUBRAMANIAN, V. Prognostic and diagnostic monitoring of complex systems for product lifecycle management: Challenges and opportunities. 14th European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE-14). Lisbon, Portugal, 16-19 maio 2004. Computers & Chemical Engineering. Volume 29, edição 6, páginas 1253-1263, 2005.

VIDAL, O. C. Aplicação do conceito de Fábrica Digital no planejamento de instalações para armação de carroçarias na indústria automobilística. Trabalho para conclusão de curso de Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

WANG, L.; NEE, A.Y.C. Collaborative design and planning for digital manufacturing. London: Springer Verlag London Ltd., 2009.

XU, X.; CHEN, J. L. Q.; XIE, S. Q. Framework of a product lifecycle costing system. Journal of Computing and Information Science in Engineering. Volume 6, edição 1, páginas 69-77, 2006.

YIN, R. K. Estudo de caso – planejamento e método. Segunda edição, São Paulo, Bookman, 2001.

YOUNG, R. I. M.; GUNENDRAN, A. G.; CUTTING-DECELLE, A. F.; et al. Manufacturing knowledge sharing in PLM: a progression towards the use of heavy weight ontologies, 3rd International Conference on Manufacturing Research, Cranfield Univ, Cranfield, England, 06-08 setembro 2005. International Journal of Production Research. Volume 45, edição 7, páginas 1505-1519, 2007.

ZHANG, Y.; ZHANG, C.; WANG, H. P. An Internet based STEP data exchange framework for virtual enterprises. Computers in Industry. Volume 41, páginas 51–63, 2000.

ZHOU, C. H.; EYNARD, B.; ROUCOULES, L. Interoperability between PLM and RoHS compliance management based on XML and smart client. Journal of Computing and Information Science in Engineering (Transactions of the ASME), 9(3). 2009. doi:<http://dx.doi.org/10.1115/1.3184601>

ANEXO I

REVISÃO DE LITERATURA

Tabela A1 - Revisão de literatura de Siller et al. (2009)

<p>Van Zeir <i>et al.</i> (1998) criaram um sistema de computador para planejamento de processo distribuído denominado Blackboard, onde inúmeros módulos do sistema desempenham tarefas específicas de planejamento que abrange desde processos e associação de máquinas até seqüenciamento de operações e seleção de ferramentas - o sistema gera grafos (redes Petri) do tipo NLPP (<i>Non-linear Process Plan</i>) os quais podem ser manuseados e modificados pelos usuários de acordo com a experiência e habilidades;</p>
<p>Chan <i>et al.</i> (1998) propuseram uma ferramenta chamada COMPASS (<i>Computer Oriented Materials, Processes and Apparatus Selection System</i>) - desenvolvida no conceito auto-explicativo (<i>meta-planner</i>) - que ajuda a identificar problemas potenciais de manufatura em estágios mais cedo do ciclo de desenvolvimento de produto, além de organizar de forma coerente todos os processos tecnologicamente heterogêneos - o sistema ainda oferece informações essenciais como custo de produção, tempos de ciclo e qualidade do produto para diferentes candidatos do processo, realizado por uma série de módulos que recebem informações de projeto e analisam essas informações de acordo com as restrições de cada tecnologia de processo armazenada em uma base de dados.</p>
<p>Tu <i>et al.</i> (2000) propuseram um <i>framework</i> CAPP (<i>Computer Aided Process Planning</i>) para o desenvolvimento de planos de processo em ambiente virtual de manufatura do tipo OKP (<i>one-of-a-kind</i>), que inclui uma arquitetura de referência, um método de planejamento de processos incremental IPP (<i>Incremental Process Planning</i>), um modelo de análise de custo que releva eficiência e lógica (<i>optimal/rational</i>), e uma base de dados de recursos de padrões;</p>
<p>Zhao <i>et al.</i> (2000) apresentaram um sistema de planejamento de processos denominado CoCAPP, o qual utiliza mecanismos de “co-operação” e “co-ordenação” baseados em agentes distribuídos e sistemas inteligentes - cada agente possui uma base de dados de conhecimento, algoritmos analíticos e regras de resolução de conflitos para a construção de possíveis planos de processos;</p>
<p>Ahn <i>et al.</i> (2002) criaram uma ferramenta de projeto e manufatura baseada na Internet denominada CyberCut, que permite a geração de peças prismáticas 3D através da abordagem geométrica de sólidos DSG a partir, por exemplo, de especificações básicas de usinagem - na fase de projeto, o usuário pode sugerir quais processos, operações, seqüências e processo de manufatura;</p>
<p>Wang <i>et al.</i> (2003) apresentaram a abordagem DPP (<i>Distributed Process Planning</i>) baseada no uso de blocos de função, que sintetizam planos de processos completos para execução em controladores CNC de arquitetura aberta – os planos de processo são gerados através da relação de dados <i>multi-agent</i> (inteligência artificial distribuída) e implementos através da linguagem KQML (<i>Knowledge Query Manipulation Language</i>);</p>
<p>Kunvatunyou <i>et al.</i> (2004) apresentaram um <i>framework</i> para integrar o planejamento de processo colaborativo onde descrevem que a manufatura colaborativa é dividida em duas partes: projeto (“<i>design house</i>”) e manufatura (“<i>manufacturing side</i>”) - afirmam que esses dois ambientes trocam</p>

informações através de grafos ordenados de acordo com a hierarquia e modelos UML (<i>Unified Modelling Language</i>) para representar as necessidades e alternativas de processos - ainda no mesmo trabalho foi implementada a aplicação de um protótipo que usa a linguagem de programação Java e a linguagem de representação de dados XML (<i>Extensible Markup Language</i>) para assegurar a portabilidade da informação;
Chung e Peng (2004) discursaram sobre a seleção de máquinas e ferramentas em ambientes de manufatura baseados na Web - usaram a base de dados MySQL, Applets Java e um navegador (<i>browser</i>) de Internet VRML (<i>Virtual Reality Modelling Language</i>);
Sormaz <i>et al.</i> (2004) criaram um protótipo de modelo de planejamento de processo, denominado IMPlanner, para planejamento de manufatura distribuído - o protótipo foi implementado com Java e XML, usaram aplicações CAD/CAM existentes e um software CAPP proprietário;
You e Lin (2005) aplicaram o padrão ISO 10303 (STEP) para troca de dados do modelo do produto e especificação Java J2EE - implementaram uma plataforma de planejamento de processos para seleção de operações de usinagem, máquinas e ferramentas, baseada em modelos EXPRESS-G (<i>Object-oriented Information Modelling</i>);
Feng (2005) desenvolveu um protótipo de um sistema <i>multi-agent</i> com o propósito de selecionar processos tecnológicos necessários para a manufatura de peças e respectivos recursos - o sistema foi construído em uma plataforma de conhecimento que captura fatores de projeto e os classifica em inúmeras características de usinagem que, inclusive, integra aplicações CAD, CAM E CAPP heterogêneas, base de dados e ferramentas matemáticas - os dados são acessados via Web;
Nassehi <i>et al.</i> (2006) examinaram a aplicação de técnicas de inteligência artificial, assim como de sistemas <i>multi-agent</i> colaborativos, para o projeto de um protótipo de um sistema de planejamento de processo orientado a objeto, denominado MASCAPP (<i>Multi-agent System for Computer Aided Process Planning</i>) – o sistema é focado em peças prismáticas e usa o padrão de comunicação STEP-NC (ISO 14649 e ISO 10303).
Cecil <i>et al.</i> (2006) desenvolveram um sistema colaborativo baseado na Internet para desempenhar algumas das atividades de planejamento de processos realizadas entre colaboradores (<i>partners</i>) em um ambiente de empresa virtual e com o apoio de um mediador ORB (<i>Object Request Broker</i>) – os recursos distribuídos incluem módulos com características de identificação, arquivos STL (<i>Stereolithography</i>), objetos de software para escolha e sequenciamento de processos, geração de setups, seleção de máquinas e ferramentas, e também inclui um agente de análise de custo de usinagem;
Guerra-Zubiaga e Young (2007) projetaram um modelo de manufatura para assegurar o gerenciamento e armazenagem da informação da instalação e conhecimento relacionados aos processos e recursos – foi desenvolvido um sistema experimental para a validação do modelo com o uso de UML, objetos de armazenagem de base de dados e o ambiente de programação Visual C++;
Mahesh <i>et al.</i> (2007) propuseram um framework, denominado Web-MAS, para um sistema <i>multi-agent</i> baseado na Web, que usou o sistema de mensagem KQML – cada agente processa capacidades únicas e a base de conhecimento para desempenhar diferentes atividades como avaliação da manufatura, planejamento do processo, programação e monitoramento da produção em tempo real;
Peng <i>et al.</i> (2007) propuseram um sistema de manufatura virtual baseado em rede para SMEs (<i>Small and Medium-sized Enterprises</i>) no qual usuários distribuídos compartilham modelos CAD

em um ambiente de realidade virtual e contribuem para o desenvolvimento de planos de processos com a ajuda de um sistema denominado VCAPP – implementado em Java e usando VRML;

Ming *et al.* (2008) apresentaram um *framework* para planejamento e manufatura de processos colaborativos com base na abordagem de gerenciamento do ciclo de vida de produtos - desenvolveram e implementaram uma infraestrutura de tecnologia integrada que permite a troca de informações UML, CAPP e aplicações CAM, além de uma interface onde usuários interagem com o sistema.

Fonte: Collaborative Design and Planning for Digital Manufacturing – Wang e Nee (2009).

ANEXO II

Fluxograma do planejamento e execução de processos de usinagem - EPU

ANEXO III

GLOSSÁRIO DE TERMOS ESTRANGEIROS

Achievement profile - Perfil de implementação.

Activity - Atividade.

Active - Ativo.

Adaptive manufacturing - Manufatura adaptativa.

Adapters - Adaptadores.

Addressing requirements - Acesso a requisitos.

Ad-hoc - Para um determinado fim.

Agent-based - Baseado em agentes.

Archived - Arquivado.

As-is - Como está; a situação atual.

Assemblies - Montagens.

Assessment - Avaliação.

Attach - Anexar.

Audit - Auditoria.

Automation and drives - Automação e mecanismos.

Backgrounds - Plano de fundo.

Backbone - Estrutura física central.

Bandwidth - Banda de transmissão da rede.

Benchmarking - Comparação de melhores práticas.

Benchmark worldwide - Referência mundial.

Blending - Combinando, misturando.

Blueprint - Esquema, diagrama ou plano detalhado.

Boosters - impulsionadores.

Browsers - Navegadores.

Business processes - Processos de negócios.

Business/Commerce - Negócios/comércio.

Bundles - Pacote de produtos/produtos vendidos em conjunto.

Catalyst - Catalisador.

Changes - Modificações.

Change mind - Capacidade de mudança.

Chief Executive Officer (CEO) - Diretor Executivo.

Client application - Aplicação cliente.

Cloud Computing - Computação nas nuvens.

Closed loop - Ciclo fechado.

Collaborative manufacturing process management - Gerenciamento colaborativo do processo de manufatura.

Computer-Aided Process Planning (CAPP) - Planejamento de Processos Assistido por Computador.

Complete - Completo.

Compliance - Conformidade.

Continuous - Contínua.

Core - Núcleo.

Core competences - Competência específica, competência empresarial.

Cluster - Grupo.

Dashboard - Painel.

Deadline - Prazo final de entrega.

Defined - Definido.

Delivery - Entrega.

Digital factory - Fábrica digital.

Digital manufacturing - Manufatura digital.

Digital manufacturing and production - Manufatura digital e produção.

Distributed - Distribuído.

Download - Transferência de arquivos.

Drivers - Direcionadores.

Earlier - Estágios iniciais.

E-business - Negócios através da Internet.

E-commerce - Comércio eletrônico via Internet.

E-mail - Mensagem por correio eletrônico.

End-to-end - Completo, de ponta a ponta.

Engines - Partes do programa que trata de certo tipo de dados.

Equivalent staging - Nível equivalente.

Event - Evento.

Expected - Provável.

Firewall - Sistema de segurança em computadores.

Fixture - Fixação.

Foundation - Base.

Framework - Estrutura de desenvolvimento.

Gap - Lacuna.

Gateways - Sistemas de interligação entre duas ou mais redes com diferentes protocolos de comunicação.

Geographic boundaries - Fronteiras.

Graph-oriented language - Linguagem gráfica.

Groups - Grupos.

Groupware - Aplicativos que auxiliam grupos de usuários que trabalham juntos em rede ou de forma corporativa.

Handlers - Operadores.

Hidden - Escondido.

High maturity - Alta maturidade.

High performance - Alto desempenho.

High tech - Alta tecnologia.

Holding - Sociedade que detém uma elevada posição accionista sobre outra empresa.

Hubs - Concentradores de redes.

Incomplete - Incompleto.

Informative - Instrutiva.

Initiated - Iniciado.

Inter-enterprise - Ambientes corporativos internos e externos.

Input - Entrada.

Jig - Ferramentas de ajuste.

Joint venture - Empreendimento conjunto.

Journals - Periódicos acadêmicos.

Just-in-Sequence - É uma estratégia de inventário que corresponde ao *Just in Time*, que ajusta a sequência conforme a variação de produção da linha de montagem.

Just-in-Time - É um sistema de administração da produção que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora exata.

Knowledge - Conhecimento.

Layout - Esboço que mostra a distribuição física, tamanhos e pesos de elementos num determinado espaço.

Lead-time - Tempo de execução.

Lean manufacturing - Manufatura enxuta.

Lightweight - Leve.

Link - Vínculo, conexão.

Managed - Gerenciado.

Markup - Anotações.

Metrics - Indicadores.

Mid-market - Empresas de médio porte.

Mix - Variedade, mescla.

Moving ahead - Avançar.

Multi-faceted - De muitas características.

Network - Malha, rede.

Off-line - Desconectado.

Openness - Acessibilidade.

Open-source - Software com código fonte aberto.

Optimized - Otimizado.

Outlines - Contornos.

Output - Produto, produção.

Outsourcing - Terceirização.

Participant - Participante.

Part number - Número de série; código do componente ou produto.

Payload - Transmissão de dados em tempo real.

Performed - Executado.

Piece - Parte.

Pipeline - Conjunto de serviços, canal de processamento de dados.

Players – Participantes; concorrentes.

Plug-in - Aplicativo para adicionar funções a programas maiores.

Portfolio management - Gerenciamento de portfólio.

Power - Poder, autoridade.

Power train - Sistema de transmissão.

Private workspace - Ambiente dedicado.

Procedures - Procedimentos.

Process-centric - Centrado em processos.

Process-driven product design - Projeto de produto dirigido a processos.

Query - Restauração da informação.

Ramp-up - O período entre o desenvolvimento de produtos e a utilização da capacidade máxima de produção.

Read/write - Leitura e gravação.

Recipient - Receptor.

Repeatable - Repetível.

Representations - Representações.

Required – Obrigatória; solicitado.

Roadmap - Mapa de fluxo.

Role - Regra.

Roll-up - Réplica de dados ou soluções.

Routing - Roteamento, rota.

Running - Em execução.

Run-time - Tempo de execução.

Shareholders - Investidores.

Signoff - Aprovação.

Simulation - Simulação.

Schemas - Esquemas, programas.

Sketching - Esboço.

Staged - Gradual.

Stakeholders - Os envolvidos no processo.

Sub-assemblies - Submontagens.

Suppliers - Fornecedores.

Supply chain - Cadeia de fornecimento.

Supply net - Rede de fornecimento.

Suspended - Suspenso.

Staff - Equipe, grupo de trabalho.

Sub-workflow - Sub fluxo de trabalho.

Target profile - Perfil de objetivos.

Teams - Equipes.

Templates - Gabaritos, modelos.

Terminated - Terminado.

Tiers - Fornecedores; níveis.

Tiers I - Fornecedores de nível I.

Time-to-market - Período de tempo desde a concepção do produto até seu lançamento/colocação no mercado.

Time-to-value - Tempo de entrega do valor investido.

Timing - Controle/determinação do tempo certo.

To-be - Onde se quer chegar; como vai ficar.

Tolerant modeling - Modelagem tolerante.

Toolkits - Conjuntos de ferramentas.

Transition rule - Regra de transição.

Unit/agent/actor-based - Baseado em unidade, agente e ator.

Vault - Em informática, repositório de dados.

Viewers - Visualizadores.

Web-based - Baseado na web.

Wireframe - Estrutura de arame.

Wireless - Sem fio.

Workflow - Fluxos de trabalho.

Workflow enactment - Administração e monitoramento da representação do fluxo de trabalho.

Workflow engines - Recursos de fluxos de trabalho.

Workflow Viewer - Visualizador de fluxo de trabalho.

Workflow model - Modelo de fluxo de trabalho.

Workflow persistence of control data - Persistencia nos dados de controle do fluxo de trabalho.

Workforce - Força de trabalho.

World-class - De classe mundial.